1) INTRODUÇÃO 3

2) DESCRIÇÃO DA HIERARQUIA PDH 7

2.1) CONCEITOS BÁSICOS SOBRE COMUNICAÇÕES DIGITAIS 7
2.2) QUADRO PCM DE 2 MBPS 9
2.3) HIERARQUIA PDH AMERICANA, EUROPÉIA E JAPONESA 12
2.4) QUADROS PCM DE ORDEM SUPERIOR 13
2.5) PROCESSO DE SINCRONIZAÇÃO DA PDH 14

3) A HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA 16

3.1) PRINCÍPIOS BÁSICOS DA HIERARQUIA SÍNCRONA 16
3.1.1) Generalidades 16
3.1.2) Descrição das Camadas 18
3.1.3) Taxas de Transmissão da SDH 19
3.1.4) Estrutura de Multiplexação da SDH 20
3.1.5) Estrutura do Quadro STM-1 24
3.1.6) Estrutura do Quadro STM-N 29
3.2) MAPEAMENTO / ALINHAMENTO DOS TRIBUTÁRIOS 31
3.2.1) Conceitos Básicos 31
3.2.2) Mapeamento Assíncrono / Alinhamento de 140 Mbit/s 33
3.2.3) Mapeamento Assíncrono / Alinhamento de 34 Mbit/s 37
3.2.4) Mapeamento/Alinhamento de 2 Mbit/s 38
3.2.5) Mapeamento de Células ATM 44
3.3) MÉTODOS DE MULTIPLEXAÇÃO SÍNCRONA 47
3.3.1) Processos de Multiplexação (Entrelaçamento de Bytes) 47
3.3.2) Formação dos TUG's 48
3.3.3) Formação dos AUG's 50
3.3.4) Formação dos STM-N's 52
3.3.5) Processo de Recuperação de Relógio (embaralhamento de bits) 55
3.4) EQUIPAMENTOS E ARQUITETURAS DAS REDES SDH 56
3.4.1) Equipamentos de uma Rede SDH 56
3.4.2) Arquitetura das Redes SDH (G.803) 58
3.5) PROTEÇÃO EM SISTEMAS SDH 62
3.5.1) Proteção da Seção de Multiplexação (MSP) 62
3.5.2) Anéis Tolerantes a Falhas 63
a) Classificação de ATF's 64
3.5.3) Principais Arquiteturas de ATF's 66
3.5.4) Mecanismo de Proteção de Rede e Equipamento 67
3.5.5) Redundância de Hardware 68
3.5.6) Segurança do Software 68

4) GERÊNCIA DE REDES SDH (G.784) 70

4.1) INTRODUÇÃO À GERÊNCIA DE REDES TMN 70
4.1.1) Funcionalidades de Gerência 70
4.1.2) Arquitetura TMN 71
4.1.3) Arquitetura Funcional 72
4.1.4) Arquitetura Física 75
4.2) GERÊNCIA DA SDH 78
4.2.1) Modelo Organizacional da Gerência da SDH 78
4.2.2) Relacionamento entre TMN, SMN e SMS 80
4.2.3) Acesso à SMS 80

4.2.4) Funções de Gerência SDH *82*
4.3) ACESSO DOS EQUIPAMENTOS SDH À TMN 88

5) APLICAÇÕES DAS REDES SDH 90

5.1) REDES INTELIGENTES 90
5.2) SDH EM REDES DE ACESSO 90
5.3) RDSI 91
5.4) ATM 92
5.5) PRÓXIMOS PASSOS DA REDE SDH 92

6) CONCLUSÕES 94

6.1) COMPARAÇÃO SDH X PDH 95
Características da PDH: *95*
Características da SDH: *95*
Vantagens da SDH: *96*

7) BIBLIOGRAFIA: 98

ABREVIAÇÕES UTILIZADAS 99

1) INTRODUÇÃO

O primeiro telefone viável, na prática, foi considerado pouco mais que um brinquedo (Alexander Graham Bell, 1876: requerimento de patente respectivo à transmissão eletromagnética de voz). Parece que ninguém tinha idéia do impacto que o telefone iria causar mais tarde no mundo.

Em nossa sociedade industrial moderna, o intercâmbio de informações chega a assumir um papel quase tão importante quanto os fatores básicos de produção: capital e trabalho. Ingressamos em uma nova era da história: a era da informação e das comunicações.

A partir do início da década de 1970, muitas concessionárias de serviços de telecomunicações decidiram começar a instalar exclusivamente sistemas digitais. Essa decisão visava a implementação eventual da Rede Digital de Serviços Integrados - RDSI, com o objetivo de oferecer a maior variedade possível de serviços aos clientes. Contudo, são necessários equipamentos digitais de transmissão e comutação para que se dê a transição à RDSI. Para chegar a esse ponto, primeiro será necessário passar por uma série de etapas.

Vamos voltar um pouco mais no tempo: em 1938, Allan H. Reeves sugeriu o uso de uma nova técnica para a amostragem, quantização e transmissão de sinais de voz codificados. A criação da codificação denominada modulação por associação de códigos a pulsos (*Pulse Code Modulation*-PCM), para a transmissão de sinais em altas taxas de bits, tornou possível transmitir sinais múltiplos através de um único circuito, empregando técnicas de Multiplexação por Divisão de Tempo (*Time Division Multiplexing*-TDM). Esta descoberta, no entanto, estava muito além de sua época. Os sistemas de transmissão PCM só ficaram economicamente viáveis por volta de 1961, com o advento dos semicondutores e o aumento na demanda por serviços de telefonia. O rápido desenvolvimento a nível internacional teve como resultado uma série de padrões nacionais para os multiplexadores de primeira ordem. Mais tarde,

os sistemas digitais interurbanos entraram em cena. Ao longo dos anos, três padrões foram adotados:

- O padrão norte–americano, utilizado nos EUA e Canadá, com uma velocidade primária de 1,544 Mbit/s (T1);
- O padrão europeu, nos países CEPT (*Committee European de Post et Telegraph*), baseado em uma velocidade primária de 2,048 Mbit/s (E1);

Estes padrões empregam a Hierarquia Digital Plesiócrona ou quase síncrona (*Plesiochronous Digital Hierarchy* - PDH, do grego *Plesiós*, que significa quase e *chronous*, que significa relógio) na transmissão dos sinais.

Um ajuste das velocidades através do processo de justificação ou enchimento (*stuffing*) é necessário ao efetuar-se a multiplexação, devido às diferenças entre os relógios dos tributários. A extração e a inserção de sinais de voz e dados a partir de fluxos de informação a velocidades altas exige uma tecnologia bastante complexa de multiplexadores.

Surge mais tarde a Hierarquia Digital Síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy* – **SDH**), com objetivo básico de formar um padrão internacional unificado e facilitar o processo de extração e inserção de tributários, tornando as redes mais flexíveis. Desta forma, a gerência das redes poderia tornar-se mais eficaz e mais econômica. Além do mais, a demanda crescente por enlaces de comunicações de faixa larga poderia ser satisfeita mais facilmente. Estas mesmas considerações aplicam-se ao Modo de Transferência Assíncrono (*Assynchronous Transfer Mode*-ATM), que já é uma realidade, principalmente em redes corporativas.

A partir da década de 60, os primeiros sistemas PCM foram introduzidos, com o propósito de aumentar a capacidade de transmissão dos cabos existentes para interconectar localmente centrais eletromecânicas de comutação. Até 1984, aproximadamente, usava-se a rede telefônica apenas para serviços de comunicações em faixa estreita. Ainda hoje muitas redes telefônicas funcionam segundo o mesmo princípio.

A introdução da Hierarquia Digital Síncrona - SDH trouxe grandes benefícios no sentido de melhoria das possibilidades de gerência das redes, graças ao seu cabeçalho (*overhead*) expandido e à técnica mais versátil de multiplexação. Os assinantes não deverão dar-se conta destas mudanças na fase inicial, mas as concessionárias poderão reagir mais ágil e eficientemente às exigências de seus clientes.

A SDH representa uma nova forma de multiplexação de sinais digitais. Trata-se de um desenvolvimento que tira proveito dos avanços da microeletrônica ao longo dos últimos anos. O processo de multiplexação de sinais digitais torna- se muito mais simples.

A primeira característica básica do quadro SDH é que o mesmo está organizado em bytes, e não em bits; ou seja, os espaços de carga para os tributários são intercalados byte a byte. A segunda característica básica é que o quadro de linha e todas as estruturas de tributários têm taxa de repetição de 8.000 vezes por segundo, igual à do quadro de 2 Mbps. Apresentando uma taxa de repetição compatível em todos os níveis, os tributários mapeados no espaço de carga, em princípio, não devem correr em fase em relação ao quadro de linha, o que facilita demultiplexações sucessivas.

Por se tratar de um tema muito amplo, o nosso objetivo neste trabalho é apresentar uma visão geral sobre a Hierarquia Digital Síncrona, sem um aprofundamento maior. Assuntos como Gerência, Proteção ou Equipamentos poderiam facilmente servir como tema para um trabalho de estudo como este. No capítulo 2 introduziremos os conceitos referentes à Hierarquia Plesiócrona, predecessora da Hierarquia Síncrona. Começaremos com os conceitos básicos sobre comunicações digitais, formação do quadro PCM de 2 Mbps e de nível superior.

A partir do capítulo 3 começaremos a estudar a Hierarquia Digital Síncrona propriamente dita. Na Seção 3.1 apresentaremos os conceitos básicos sobre a Hierarquia Digital Síncrona, a formação dos quadros que irão compor o STM-N (Módulo de Transporte Síncrono - *Synchronous*

Transport Module), as taxas de transmissão da SDH e estruturas de multiplexação.

Na seção 3.2 apresentaremos os conceitos referentes ao mapeamento, que é o processo de alocação de tributários em containers virtuais (VC-*Virtual Container*) para serem transportados pela rede SDH e o alinhamento dos quadros, que é o processo de alocação de containers virtuais nos espaços de carga dos quadros (*Tributary Unit*-TU ou *Administrative Unit*-AU). Faremos uma introdução da tecnologia ATM (*Assyncronous Transfer Mode*) e uma comparação com a SDH e como as duas tecnologias trabalham juntas, uma servindo como transporte para a outra.

Apresentaremos na seção 3.3 os métodos de multiplexação síncrona. A formação dos Grupos de Unidade Tributária (*Tributary Unit Group*-TUG), dos Grupos de Unidades Administrativas (*Administrative Unit Group*–AUG) e a formação dos Módulos Síncronos de Transporte (*Synchronous Transport Module* – STM).

Na seção 3.4 apresentaremos os equipamentos utilizados em uma rede SDH. Depois de identificar os equipamentos, veremos algumas das diversas maneiras de se construir uma rede SDH na prática. A seguir, na seção 3.5, iremos apresentar os conceitos de proteção em sistemas SDH.

No capítulo 4 iremos abordar o tema – Gerência de Redes SDH, que é uma ferramenta muito poderosa da Hierarquia Digital Síncrona.

No capítulo 5 apresentaremos algumas aplicações para as redes SDH, e por fim, no capítulo 6, as conclusões deste estudo.

2) DESCRIÇÃO DA HIERARQUIA PDH

2.1) Conceitos Básicos Sobre Comunicações Digitais

Centrais telefônicas eletrônicas, telefones celulares, modernos PABX e sistemas de transmissão trabalham com sinais digitais binários. Contudo, a voz humana é analógica e antes de ser manipulada por esses equipamentos, deve ser digitalizada. Compreender como ocorre essa digitalização é fundamental para entender a importância dos sistemas baseados na Hierarquia Digital Síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy* – SDH).

No início deste século, os cientistas descobriram que não era preciso transmitir a voz o tempo todo para que fosse compreendida. Enviar amostras do sinal elétrico análogo à voz, tomadas a intervalos regulares, seria o bastante para recuperar o sinal original depois. Do outro lado da linha, um circuito eletrônico transformaria as amostras num sinal analógico muito semelhante ao original.

Harry Nyquist, engenheiro americano que trabalhava no *Bell System* nos anos 20, concluiu que utilizando-se uma taxa de amostragem igual a duas vezes a componente de maior frequência do sinal analógico, seria possível recuperar o sinal original. Com os canais de voz limitados em uma faixa de 0 à 4 KHz, temos uma taxa de 2 x 4KHz, ou 8.000 amostras por segundo.

Cada amostra é comparada com 256 patamares predefinidos, que correspondem às 256 possibilidades de palavras de 8 bits. Se a amplitude da amostra estiver mais próxima do patamar 80, por exemplo, recebe o código de 8 bits referente à este patamar, e assim por diante. Este processo de codificação é conhecido como modulação por associação de códigos a pulsos, cuja sigla é PCM (*Pulse Code Modulation*).

Como são feitas 8 mil amostras por segundo, cada qual rotulada com 8 bits, o resultado da digitalização da voz humana, em aplicações telefônicas,

é uma sucessão de 64 mil bits por segundo, ou 64 Kbps. Esse sinal é o "tijolinho" básico dos sistemas de telecomunicações.

Na outra ponta, do lado do receptor, ocorre o processo inverso. O sinal de 64 Kbps do canal de voz é decomposto em 8 mil códigos de 8 bits. Um conversor lê cada código e produz, em sua saída, um pulso de amplitude correspondente. E outro circuito transforma os 8 mil pulsos num sinal analógico contínuo, semelhante ao sinal original.

O importante é entender que na entrada do conversor analógico-digital há um sinal elétrico cujas variações de amplitude são análogas às variações de amplitude do sinal de voz, e na sua saída há uma torrente de bits que se sucedem ao ritmo de 64 Kbps. Este sinal digital é chamado de canal PCM.

Os sinais digitais são manipulados mais facilmente, e a transmissão é mais imune a ruídos. Os mesmos equipamentos projetados para tratar voz digitalizada também podem tratar sinais de dados e vídeo.

O modo de transmissão assíncrono foi inicialmente desenvolvido para a telegrafia. Consiste em enviar a informação precedida por um símbolo de início e marcar o fim da informação com um símbolo de fim. O intervalo entre uma informação e outra é imprevisível – por isso o termo assíncrono, que significa, em tradução livre, intermitente. Este tipo de transmissão foi criado para enviar caracteres conforme fossem teclados por operadores de telex.

O sinal ou símbolo que marcar o início e o fim do caracter pode ser um bit ou um conjunto de bits. Como todo caracter precisa vir acompanhado de sinais de sincronismo, o modo assíncrono de transmissão também é conhecido como "sincronismo de caracter".

Decodificar a mensagem só é possível se o receptor puder contar os bits que chegam e compará-los com uma seqüência de bits gerada internamente, conhecida como relógio. O sinal de início (um bit ou um

byte) serve para que o receptor alinhe o sinal que chega com o relógio interno, além de marcar onde começa a mensagem. O sinal de fim indica que o caracter já foi completamente transmitido, permitindo ao receptor avaliar se recebeu todos os bits que deveria ter recebido. E o processo recomeça com o próximo caracter.

No modo síncrono não há interrupção na transmissão. As referências de *clock* do transmissor e do receptor precisam ser idênticas. Por isso, neste tipo de transmissão precisa haver um mecanismo de controle dos pulsos do relógio.

É comum usar protocolos que reconhecem um byte, único e exclusivo, como referência de sincronismo. Toda vez que o receptor identifica esse byte, realinha os pulsos de seu relógio de referência.

O transmissor envia duas ou três vezes o byte de sincronismo, depois um byte avisando que a transmissão dos caracteres vai começar e depois os dados (um ou mais bytes de caracteres), depois um byte avisando que a transmissão de caracteres terminou e, por fim, um byte que serve para verificar se houve algum erro na transmissão. Enquanto não houver mais caracteres a serem transmitidos, o sistema vai enviando bytes de sincronismo continuamente.

Por que é tão necessário transmitir sinais de sincronismo, se na transmissão síncrona os bytes chegam a intervalos regulares? Porque a leitura da torrente de bits que chega do transmissor só é possível se esses bits estiverem alinhados com uma torrente de bits de referência, conhecida como relógio (*clock*). Com variações de tensão e de temperatura, entre outros fatores, o relógio de referência pode “escorregar”, ou seja, ficar desalinhado em relação ao sinal recebido.

2.2) Quadro PCM de 2 Mbps

Logo os engenheiros perceberam que seria possível projetar sistemas de transmissão mais baratos e eficientes por meio da mesclagem de vários

canais PCM e da transmissão síncrona dessa mescla por um único par de fios, o mesmo que antes era ocupado por um só sinal analógico.

O método usado para combinar vários canais de 64 Kbps em uma única torrente de bits de maior velocidade é conhecido como TDM (*Time Division Multiplexing*).

O conceito é simples: Alinham-se 32 canais PCM. Um byte de cada canal é transmitido por vez, num canal de saída de alta velocidade.

O multiplexador TDM lê o primeiro byte de cada um dos canais PCM, todos ao mesmo tempo. Cada um desses bytes dura 125μs, após o que são armazenados na memória do multiplexador.

Da memória do MUX, os bytes são enfileirados na saída de alta velocidade: o primeiro byte do canal 1, depois o primeiro do canal 2, e assim por diante até o primeiro byte do canal 32, quando o processo recomeça para o segundo byte de cada canal. Só que, na saída, cada byte dura apenas 3,90625μs. Em outras palavras, os 32 primeiros bytes de cada um dos 32 canais PCM duram o mesmo tempo (125μs) que cada byte da entrada. Com isso, a velocidade da torrente de bits na saída do mux é de 2,048 Mbps ou 32 vezes 64 Kbps.

Desses 32 canais, o primeiro é usado para controle e sincronismo do "seletor rotativo" que, na outra ponta do sistema, desfaz a intercalação ou demultiplexa, e o décimo sétimo é usado para sinalização. Essa é a estrutura de um enlace PCM, também chamado de enlace E1 (por ser um padrão europeu) e de sinal de 2 Mbps: 30 canais de voz ou 31 canais de dados, 2 canais para sinalização e sincronismo e taxa de 2,048 Mbit/s.

Antigas centrais telefônicas eletromecânicas eram interligadas por meio de circuitos eletrônicos analógicos com 2 ou 4 fios. A técnica de digitalização da voz usando PCM e a de construção de enlaces com 30 canais de voz simultâneos (enlace E1) representaram uma revolução nas telecomunicações.

Conforme a procura por serviços telefônicos foi crescendo, ficou claro que o padrão E1 seria insuficiente para escoar todo o tráfego entre as grandes centrais telefônicas. Para evitar um número excessivo de enlaces E1 entre as centrais, cuja manutenção seria cara e complexa, foi preciso criar multiplexadores que intercalassem vários enlaces E1 num único cabo coaxial ou fibra óptica.

Na Europa e no Brasil, adotou-se o padrão que intercalava quatro enlaces E1, produzindo um sinal de 8,448 Mbps em um processo semelhante ao da multiplexação de 32 canais PCM. Desta forma, surge a formação dos quadros PCM de ordem superior, de acordo com os padrões apresentados a seguir.

2.3) Hierarquia PDH Americana, Européia e Japonesa

Estas hierarquias são baseadas em velocidades primárias diferentes. Tudo o que elas possuem em comum são os canais de 64 Kbps. Na Europa, por exemplo, a taxa primária é composta por 32 canais de 64 Kbps, resultando em um tributário de 2,048 Mbps; já nos EUA, a taxa primária é composta por 24 canais de 64 Kbps, resultando em um tributário de 1,544Mbps.

Ao cruzar fronteiras internacionais, a conversão é necessária para que ocorra compatibilidade entre as tecnologias. Isto se deve justamente ao fato de não haver um padrão na PDH, ao contrário do que ocorre na SDH. A figura 2.6 ilustra as hierarquias PDH atuais e alguns dos fatores de conversão possíveis entre elas.

2.4) Quadros PCM de Ordem Superior

Os espaços de carga do quadro multiplexado de ordem superior não são intercalados byte a byte, como no quadro primário (PCM de 2 Mbps), e sim bit-a-bit. Além disso, em função dos bits de enchimento, as taxas de transmissão aumentam cada vez mais nos processos de multiplexação.

O comprimento dos quadros de cada nível hierárquico é arbitrário. Para localizar os espaços de carga dos tributários e os bits de serviço, cada nível hierárquico tem seu próprio sinal de alinhamento de quadro específico para esse nível.

Por último, os bits de serviço são muito limitados em sua capacidade, somente permitindo um pequeno transporte de alarmes.

Na Hierarquia Plesiócrona adotada no Brasil, para os quadros de ordem superior, o quadro de cada nível hierárquico contém quatro espaços de carga (um para cada tributário), intercalados bit-a-bit e precedidos de um sinal de alinhamento de quadro (repetido a cada novo quadro). Cada espaço de carga possui uma capacidade ligeiramente superior à necessária para os bits do tributário.

Em uma posição específica, o multiplexador tem a opção de copiar ou deixar de copiar um bit de informação do tributário. Quando a defasagem acumulada entre o tributário e o espaço de carga chega a um bit, o mux deixa de copiar um bit de informação nesse espaço, avisando ao demux para que pule esse bit ao recuperar os bits úteis daquele tributário.

2.5) Processo de Sincronização da PDH

Os tributários transportados no quadro PCM de 2 Mbps são armazenados nos respectivos espaços de carga (intervalo de tempo). Como o quadro não permite ajustar a velocidade de cada tributário ao espaço de carga a ele destinado, os tributários têm que ser síncronos ao quadro primário, pois de outro modo ocorreriam "deslizamentos" (*slips*) periodicamente.

A função das centrais de comutação é retirar a carga (tributário de 64 Kbps) contida nos quadros primários que lhes chegam, e colocá-la nos espaços de carga dos quadros primários gerados por elas mesmas em direção a outros elementos de rede mais adiante. Os tributários têm que caber exatamente nos espaços de carga, se não o fizerem, os elementos que realizam a comutação introduzirão slips ou deslizamentos.

Devido a essa problemática, para que um sinal de 64 Kbps ou n x 64Kbps possa ser transportado sem ser danificado, é preciso que todos os sinais de 64 Kbps sejam síncronos aos quadros de 2 Mbps, e que todos os quadros de 2 Mbps sejam síncronos ente si.

Para evitar ter que sincronizar também os multiplex de ordem superior, a multiplexação dos tributários a partir de 2 Mbit/s obedece a um esquema bastante distinto.

Nos sistemas multiplex digitais de segunda ordem, seguindo a hierarquia de 2,048 Mbps, os sinais tributários que irão formar um sinal composto a 8,448 Mbps são ditos plesiócronos. Para se efetuar a formação do sinal composto é preciso primeiramente fazer com que estes sinais plesiócronos tornem-se síncronos. Um dos métodos usualmente empregados e que é adotado nos multiplex digitais de alta hierarquia é o método de justificação positiva.

Este processo consiste em se fazer a inserção de informações redundantes em intervalos de tempo reservados para tal, nos quatro sinais

tributários de entrada. Após este processo de sincronização, os sinais tributários são multiplexados em um sinal composto a 8.448 Kbps.

No caso do multiplex de 2ª ordem, para a sincronização dos sinais de cada tributário de entrada (plesiócrono), é realizado o armazenamento dos sinais de cada tributário em uma "memória elástica". A escrita nessa memória é seqüencial e comandada pelo relógio de 2,048 MHz recuperado do próprio sinal de entrada. A leitura dessa memória (seqüencial) é realizada utilizando-se um relógio interno de 2,112 MHz.

Como o relógio de leitura tem freqüência maior que o relógio de escrita, em determinado momento haveria uma sobreposição de dois bits, e consequentemente, um erro de leitura. Para evitar tal erro, as fases do relógio de escrita e do relógio de leitura são comparadas ente si, e na iminência de um erro de leitura, o comparador de fases comanda a inserção de um espaço vazio no relógio de leitura, o que significa paralisar a operação de leitura da "memória elástica".

Esse espaço vazio no relógio de leitura impede a antecipação do relógio de leitura sobre o de escrita, evitando assim erros de leitura da "memória elástica". Tal operação é denominada operação de justificação.

Como a velocidade de leitura é ligeiramente superior à velocidade com que chegam os dados de cada tributário, a memória elástica tende sempre a esvaziar-se. Ao ocorrer uma defasagem entre os relógios de leitura e de escrita de um bit, há uma ordem de ajuste (*stuffing*). O quadro seguinte será marcado e, na posição designada para o bit extra, receberá um bit *stuffing*. Ao gerar esse bit extra, o multiplex deixa de ler a memória por um período de relógio, e ela volta a encher-se com o bit do tributário que não foi lido durante a inserção do bit extra. Desta forma ocorre um ajuste da velocidade entre os tributários.

3) A HIERARQUIA DIGITAL SÍNCRONA

3.1) Princípios Básicos da Hierarquia Síncrona

3.1.1) Generalidades

A Hierarquia Digital Síncrona (*Synchronous Digital Hi3c1( )6.608 Tw-p.8(h)-0.7(y)1*
diferente do contexto PDH, que possui três padrões
europeu e japonês).

Um sistema unificado proporciona maior capac
gerência das redes, bem como uma considerável

Outra característica da SDH é possuir um “cabeçalho” grande o suficiente para permitir designar vários canais de grande capacidade para funções de supervisão, operação, manutenção e gerência dos elementos de transporte da rede.

Os quadros dos tributários podem ser subdivididos segundo esquemas bem definidos para acomodar espaços de carga (unidades tributárias) de menor ordem. Estas unidades tributárias, por sua vez, recebem quadros tributários sob a forma de VC’s (*virtual containers*) correspondentes ao seu tamanho. Essa flexibilidade permite misturar sinais de hierarquias distintas em um módulo básico STM-1 (*Synchronous Transport Module*).

A simplicidade do processamento permite a realização de redes flexíveis, com o uso de nós de rede capazes de copiar para e desde o sinal de linha, um ou vários tributários através de um Multiplexador insere/deriva (A*dd Drop Multiplexer* - ADM) ou copiar tributários de um sinal de linha para outros sinais de linha, realizando uma matriz temporal de comutação de *containers virtuais* (SDXC-*Synchronous Digital Cross Connects*).

As características mais importantes da SDH são:

- Tratamento a nível de byte;
- Duração de quadro uniforme (125μs);
- Utilização de ponteiros para identificar os quadros dos tributários e adaptação de velocidade (justificação);
- Canais de serviço e supervisão de grande capacidade, permitindo a implementação de uma gerência de rede TMN (*Telecommunications Management Network*);
- Padronização mundial que permite compatibilizar as 3 hierarquias existentes;

- Alta capacidade de transmissão;

- Acesso direto aos tributários de baixas taxas sem passar pelos estágios intermediários;

- Permite a implementação de arquiteturas mais eficientes e flexíveis com o uso de ADM's e SDXC's, reduzindo o custo nos nós da rede;

- Compatibilidade com as técnicas ATM (*Assynchronous Transfer Mode*).

3.1.2) Descrição das Camadas

O ITU-T subdividiu as redes de transporte SDH em três camadas, que são: camada de circuito, camada de via e camada do meio de transmissão (fig.3.1). Existe uma relação servidor/cliente entre essas camadas, onde a camada inferior é cliente da camada imediatamente superior e esta é servidora da camada imediatamente inferior. Cada camada tem seus próprios procedimentos de operação e manutenção.

Camada de Circuito – Provê aos usuários serviços de telecomunicações tais como: Comutação de circuitos e comutação de pacotes. Diferentes camadas de circuito podem ser identificadas de acordo com os serviços fornecidos;

Camada de Via – É utilizada para dar suporte aos diferentes tipos de camadas de circuito. No caso da SDH, existem dois tipos: a Camada de Via de Ordem Inferior e a Camada de Via de Ordem Superior. A monitoração desta rede de camadas é possível através do POH (*Path Overhead*) de ordem inferior ou superior;

Camada do Meio de Transmissão – É dividida em camada de seção e camada de meio físico. A camada de seção se ocupa com todas as

funções para a transferência de informação entre dois nós na camada de via. A camada de meio físico se ocupa com o meio de transmissão em sí (fibra ótica, rádio ou par metálico), a qual serve à camada de seção.

Existe também uma camada opcional denominada **Camada Tandem.** Esta camada trata do transporte confiável da carga útil da camada de via e seu cabeçalho através da rede, isto é, o propósito da camada de conexão Tandem é fornecer funções de manutenção a nível de rede. A camada de conexão Tandem é composta por várias seções multiplex.

3.1.3) Taxas de Transmissão da SDH

Todos os sinais plesiócronos que aparecem nas redes atuais podem ser transportados sobre a SDH, o que significa que a rede SDH é completamente compatível com as redes existentes.

Além disso, a capacidade de transporte da SDH tem flexibilidade para acomodar os mais avançados sinais para serviços particulares, como: ATM, FDDI, DQDB entre outros.

Com a definição de uma interface de rede padronizada (*Network Node Interface*-NNI), os sistemas SDH permitirão a interconexão direta de equipamentos de transmissão de diferentes fornecedores e possibilitarão a conexão destes diversos tipos de sinais à rede SDH.

Na SDH é definida uma estrutura básica de transporte de informação denominada STM-1 (*Synchronous Transport Module*), com taxa de 155,520Mbps. Esta estrutura define o primeiro nível da hierarquia. As taxas de bit dos níveis superiores são múltiplos inteiros do STM-1.

Atualmente estão padronizados quatro módulos de transporte: STM-1, STM-4, STM-16 e STM-64. Com a necessidade de se definir uma estrutura de quadro com capacidade de transmissão mais baixa que o STM-1, surgiu o STM-0, para utilização principalmente em sistemas de rádio-enlace e satélite. Essa estrutura possui taxa de 51,840 Mbps, não sendo considerada

um nível hierárquico SDH. O ANSI (*American National Standards Institute*) padronizou esta estrutura com capacidade de transmissão de 1/3 do STM-1, que é denominado OC-1 (*Optical Carrier* nível 1) e corresponde ao primeiro nível da hierarquia americana (*Synchronous Optical Network*-SONET).

3.1.4) Estrutura de Multiplexação da SDH

Na SDH a informação está organizada em Módulos Síncronos de Transporte-STM, os quais contém três áreas básicas:

SOH (Cabeçalho de Seção) – Cumpre funções de sincronismo de quadro, canais de serviço, funções de controle, etc.

AU *Pointer* (Ponteiro da Unidade Administrativa): Indica como está estruturada a informação na área da carga útil, e indica como localizar os *virtual containers*, onde está a informação dos tributários.

Payload (Área de carga útil): Composta de containers virtuais, os quais recebem e acomodam organizadamente a informação dos tributários. Dentro da carga útil, cada container virtual possui um cabeçalho próprio encapsulando os dados de usuário (POH - cabeçalho de via).

Os NNI's (*Network Node Interface*) ou Interface de Nó da Rede (terminais com capacidade de derivação e inserção) interpretam os ponteiros para localizar os containers virtuais, que contêm os dados para derivação ou inserção.

Podemos interpretar o módulo de transporte como um trem cujos vagões são containers virtuais que podem ser manipulados nos pátios das estações de transferência de carga (NNI's).

A seguir, seguem algumas definições para que possamos compreender a estrutura de multiplexação:

Container : C-11, C-12, C-2, C-3 ou C-4

O Container consiste de uma estrutura de informação de tamanho apropriado, que transportará o sinal tributário enquanto este permanecer na rede SDH. Sua função é adaptar os tributários em espaços de carga padrão (containers), que serão transportados através da rede. Existe um número limitado de containers definidos para as taxas mais comumente encontradas na rede. Ver figura 3.9.

A função de adaptação de um tributário na rede SDH é feita através de mapeamento do sinal tributário no container síncrono. Se o sinal tributário for plesiócrono ou assíncrono, o processo de mapeamento inclui justificação de bit. Assim, o tributário de 2,048 Mbps é mapeado no tributário C-12, o tributário de 34,368 Mbps é mapeado no C-3 e o o tributário de 139,264Mbps é mapeado no C-4 (fig.3.3).

Virtual Container : VC-n

Um V*irtual Container* ou Container Virtual é uma estrutura de informação utilizada para acomodar as conexões da camada de via do SDH. Ele é composto pelos campos da carga útil (container) e do cabeçalho de via POH (*Path Overhead*), organizados em uma estrutura que se repete a cada 125 μs.

Os VC's são categorizados segundo um nível "n". Para n=1 e 2, temos um VC de ordem inferior, que é composto por um único container C-1 ou C-2 e um cabeçalho de via (POH) de ordem inferior.

Um VC-3 será de ordem inferior quando estiver associado a um TU-2.

Para n=3 e 4, temos um VC de ordem superior, que é composto por um único container C-3 ou C-4 ou por um conjunto de Grupos de Unidade Tributária (TUG-2 ou TUG-3) e por um cabeçalho de via de ordem superior.

Os sinais tributários (por exemplo um feixe de 2Mbps) são arranjados dentro de um VC para transmissão ponto-a-ponto através da rede SDH. O

VC é montado e desmontado apenas uma vez, mesmo se ele precisa ser transferido de um sistema de transporte para outro várias vezes em seu caminho através da rede.

Tributary Unit : TU-12 ou TU-3

Tributary Unit ou Unidade Tributária (TU) é uma estrutura de informação que proporciona adaptação entre a camada de via de ordem inferior e a camada de ordem superior. Uma TU-12 é constituída por um *payload* de informação (VC-12) e um ponteiro de TU, através do qual se obtém a diferença em bytes entre a posição ocupada pelo *overhead* de via do VC-12 e o início do VC de ordem superior.

Uma TU-3 é uma estrutura constituída por um VC-3 e um ponteiro de TU, através do qual se obtém a diferença em bytes entre a posição ocupada pelo primeiro byte do *overhead* de via do VC-3 e o início do VC-4.

Administrative Unit : AU-3 ou AU-4

Administrative Unit ou Unidade Administrativa (AU) é uma estrutura de informação que proporciona adaptação entre a camada de via de ordem superior e a camada de seção de multiplex. A AU-3 é constituída por um *payload* de informação (VC-3) e um ponteiro de AU, através do qual obtém-se a diferença em bytes entre a posição ocupada pelo primeiro byte do *overhead* de via do VC-4 e o início do quadro STM-N.

Tributary Unit Group : TUG-2 ou TUG-3

O entrelaçamento byte a byte de três TU-12, os quais ocupam posições fixas em relação ao início do *virtual container* de ordem superior (VC-3 ou VC-4), constitui um Grupo de Unidades Tributárias-2 (TUG-2).

Um Grupo de Unidades Tributárias-3 (TUG-3) é obtido a partir do entrelaçamento byte a byte de um TUG-2, ou a partir de um TU-3.

Administrative Unit Group : AUG

O entrelaçamento byte a byte de três AU-3, os quais ocupam posições fixas em relação ao início do quadro STM-N, constitui um Grupo de Unidades Administrativas (AUG). Um único AU-4 também se constitui num AUG.

Synchronous Transport Module : STM-N

O Módulo de Transporte Síncrono STM é uma estrutura de informação utilizada para permitir conexões entre camadas de seção através da Hierarquia Digital Síncrona (SDH). Um STM-N é uma estrutura que se repete a cada 125μs, constituída por um *payload* de informação (um AUG que resultará em um STM-1 ou quatro AUG's entrelaçados byte a byte que resultarão em um STM-4 ou dezesseis AUG's entrelaçados byte a byte que resultarão em um STM-16) e um *overhead* de seção (SOH).

A estrutura de multiplexação da SDH padronizada pelo ITU-T, através da norma G.709 está ilustrada na figura abaixo. Nesta estrutura podemos identificar as diversas camadas da rede SDH e a sua formação a partir dos tributários.

Os espaços de carga para os tributários são constituídos por vários bytes intercalados no quadro, em subdivisões consecutivas, de forma muito ordenada.

O container virtual VC-4 contém um cabeçalho de via (POH) com canais de serviço e supervisão ponta a ponta. Os demais bytes desse quadro VC-4 podem constituir um grande espaço de carga definido como C-4, o qual abriga um sinal PDH de 140 Mbps, ou podem estar subdivididos em três espaços iguais de carga de TUG-3.

Cada TUG-3 por sua vez, pode ser designado como uma unidade tributária de 3ª ordem (TU-3). A diferença entre TU-3 e TUG-3 é sutil. Uma

TU-3 tem todos os seus bytes considerados como um espaço de carga sólido, capaz de transportar um quadro tributário de 3ª ordem (VC-3), o qual acomoda um sinal PDH de 34 ou 45 Mbps. A TU-3 possui um ponteiro associado a ela indicando em qual de seus bytes encontra-se o início do VC-3.

A TUG-3 que se segue subdividindo em unidades tributárias (TU's) menores, por outro lado, não possui um ponteiro associado, e sim uma indicação de sua ausência. Neste caso, a TUG-3 subdivide-se primeiramente em 7 TUG-2; estas por sua vez, sempre se subdividem em 3 TU-12 cada uma.

O VC-12 é um quadro contendo um espaço com capacidade para receber um sinal PDH de 2,048 Mbps (C-12). A esse container C-12 agrega-se um pequeno cabeçalho de via para alarme, controle de erros ponta a ponta e bits de serviços.

Nos países de hierarquia compatível com a CEPT, o quadro STM-1 conterá sempre um VC-4, o qual pode subdividir-se ou não, de acordo com a arquitetura da rede e a velocidade útil das vias a implementar.

Nos EUA, devido ao fato de já existirem as redes SONET, que trabalham com VC-3 ao invés de considerar que a área de carga do quadro básico STM-1 é única, divide-se esta área em três unidades administrativas (AU-3).

3.1.5) Estrutura do Quadro STM-1

Podemos fazer uma analogia do sistema SDH com o sistema de transporte rodoviário. Se há necessidade de se entregar algo entre dois pontos, são necessários caminhões. Dependendo da quantidade de itens a serem transportados, será necessário um container maior ou menor. Dependendo do tamanho dos itens a serem transportados, serão necessários estrados, para pemitir um empilhamento simples dentro docontainer. Para diferentes mercadorias, serão necessários diferentes estrados e instruções de

carregamento. A analogia do sistema rodoviário com a rede SDH pode ser feita da seguinte forma:

Estrada → Fibra Ótica, rádio digital ou satélite.

Caminhão → STM-N

Containers → VC's

Estrados → TU's

Na SDH, os caminhões são quadros em um feixe de dados digitais síncronos. Dentro do quadro, uma seção de container é definida como um VC-4. Dentro do VC-4, dependendo do serviço, um arranjo de empilhamento do estrado é definido e chamado de quadro de unidade tributária (TU). O VC-4 pode não precisar da estrutura de quadro TU se o serviço ocupar todo o VC-4 (ex: 140 Mbps no STM-1).

Cada elemento da rede SDH localiza o início do quadro STM-1 através de uma seqüência repetitiva no quadro, ou seja, por um sinal de alinhamento de quadro. Essa seqüência é transmitida nos 6 primeiros bytes do quadro. Uma vez que esteja alinhado com o quadro de linha, o elemento de rede sabe então onde encontrar os canais de serviço do cabeçalho, os bytes do ponteiro de AU e os bytes da carga útil.

Para facilitar o entendimento, um único quadro de um feixe de sinal serial pode ser representado por um mapa bi-dimensional. O mapa bi-dimensional consiste de 9 linhas e 270 colunas de caixas. Cada caixa representa um byte dentro de um sinal síncrono. Seis bytes de quadro (3xA1 e 3xA2) aparecem no extremo superior esquerdo do mapa bi-direcional. Os bytes de quadro atuam como um marcador, permitindo que qualquer byte dentro do quadro seja facilmente localizado.

Os bits de sinal são transmitidos em uma seqüência que se inicia com aqueles da primeira linha. A ordem de transmissão é da esquerda para a direita. Depois da transmissão do último byte do quadro, a seqüência se repete.

O conceito de transporte intacto dos sinais através de uma rede síncrona resultou no termo “Quadro de Transporte Síncrono” aplicado à estrutura de sinais síncronos.

Um quadro de transporte síncrono compreende três áreas distintas e facilmente acessíveis dentro da estrutura de quadro. A primeira é o *Payload* (carga útil), a segunda é o *Section Overhead (SOH)* e a terceira é o ponteiro que está dentro do SOH.

A figura 3.4 ilustra o conceito de quadro de transporte síncrono para o STM-1. Este diagrama não pretende ser proporcional. Na verdade, como se pode ver, a parte à esquerda (Cabeçalho de Seção – SOH) contém apenas 9 bytes em cada linha; como cada linha tem 270 bytes no total, há 261 bytes em cada linha na área de carga útil.

a) Cabeçalho de Seção (*Section Overhead* – SOH)

O SOH é a informação adicionada ao *payload* para gerar um STM-N. No SOH podem ser encontradas as informações de alinhamento de quadro, manutenção, monitoração de desempenho e outras funções operacionais.

O conteúdo da informação do RSOH (*Regenerator Section Overhead*) pode ser examinado e modificado não somente pelos terminais de uma seção mux, mas também pelos regeneradores de linha. Contêm, entre outras funções, o sinal de alinhamento de quadro, etiquetas, informações da gerência, supervisão de erros no sinal de linha (seção de regeneração) e canais de serviço digitais.

A informação do MSOH (*Multiplex Section Overhead*) passa através dos regeneradores de maneira transparente e termina na camada da seção multiplexadora, onde os AUG’s são montados e desmontados, monitorando dessa forma, o caminho percorrido dentro da camada da seção multiplexadora. Contém supervisão de erros de seção multiplex, canais de controle da comutação de proteção, canais de serviço digitais e canais reservados para uso futuro.

A figura 3.5 mostra os principais bytes do SOH, e logo após é dada uma explicação sobre a função de cada um destes bytes.

Nas linhas 1 a 3 e colunas 1 a 9, tem-se o Regenerator Section Overhead (RSOH). Nas linhas 5 a 9 e colunas 1 a 9, tem-se o Multiplex Section Overhead (MSOH)

Alinhamento de Quadro (A1;A2) → São bytes reservados para a transmissão da informação de início de quadro, denominada Palavra de Alinhamento de Quadro.

Identificador do STM-N (C1) → É um byte usado para identificar o STM-N. Esse byte identifica a profundidade do entrelaçamento do STM-N.

Canal de Comunicação de Dados – DCC (D1-D12) → Os bytes D1 a D3 formam um canal de 192 Kbps para comunicação no percurso do sinal dentro da camada de seção regeneradora. Os bytes D4 a D12 formam um canal de 576 Kbps para comunicação no percurso dentro da camada de Seção Multiplexadora.

Canal de Serviço (E1; E2) → Os bytes E1 ou E2 constituem canais de 64 Kbps de serviço para comunicação de voz, sendo que E1 faz parte do RSOH, podendo ser acessado nos regeneradores e E2 faz parte do MSOH, podendo ser acessado no terminal da seção multiplexadora.

Canal do Usuário (F1) → Reservado para uso da empresa operadora da rede.

Monitoração de Erros na Seção Regeneradora (B1) → Esse byte permitirá a monitoração de erro na seção regeneradora usando o código BIP-8 (*Bit Interleaved Parity-8*), que é um código de 8 bits usando paridade par.

Monitoração de Erro na Seção Multiplexadora (B2) → Esse byte permitirá a monitoração de erro na seção multiplexadora usando o código BIP-Nx24, que é um código de 24 bits usando paridade par.

Comutação Automática de Proteção (K1; K2) → São utilizados para comunicação entre MSP local (*Multiplex Section Protection*) e remota, com propósitos de comutação atravéz de um protocolo orientado a bit.

Status da Sincronização (S1) → Os bits 5 a 8 do byte S1 são alocados para mensagens de status de sincronização.

b) Cabeçalho de Via (*PathOverhead* – POH): VC-3/4

O POH é a informação adicionada ao *payload* para se criar um VC. Quando está relacionado com um container de ordem superior (VC-3 ou VC-4), o POH será de ordem superior.

c) Cabeçalho de Via (*PathOverhead* – POH): VC-11/12

Quando está relacionado com um VC de ordem inferior (VC-11 ou VC-12), o POH apresentará os seguintes bytes:

Os primeiros 9 bytes da quarta linha, a rigor, fazem parte da área de carga: é a área onde vai o ponteiro da AU-4 (caso europeu) ou os três ponteiros das três AU-3 (caso norte-americano).

Cada nó de rede SDH representa um ponto terminal de uma seção multiplex. Ou seja, o quadro STM-1 nasce em um mux e morre no mux seguinte. Os únicos elementos transparentes ao quadro na rede são os regeneradores de linha, que somente lêem e escrevem nos canais do cabeçalho de seção de regeneradores (RSOH). Um mux recebe o sinal de linha, recupera o relógio de bits, alinha-se com o quadro e começa a

processá-lo. Deriva a informação contida no cabeçalho e a entrega aos processos (internos) correspondentes.

O mux recupera então o VC-4, ou seja, vai copiando sequencialmente cada byte para uma memória FIFO (*first-in first-out*). Ao fazê-lo, o mux processa o ponteiro da AU-4 para saber se há justificação e poder copiar todos os bytes que efetivamente fazem parte do VC-4.

Uma vez obtido o VC-4, este é processado pelo mux. Ele pode ser copiado para um AU-4 de um quadro que está gerando adiante. Neste caso, o mux indica através do novo valor de ponteiro AU-4, em que posição na área de carga do novo quadro encontra-se o início do VC-4.

Por outro lado, o mux pode ser o ponto terminal de uma via de VC-4. Neste caso, o VC-4 tem seu cabeçalho extraído e processado. A área de carga do VC-4 é processada segundo sua composição; por exemplo, caso se trate de um C-4 contendo um sinal de 140 Mbps, o mux extrai os bits desse sinal e os encaminha a uma interface PDH correspondente. Se, por outro lado, a área de carga do VC-4 está subdividida em TU's, o mux recupera os bytes VC's de menor ordem que são necessários para derivação e cross conexão.

3.1.6) Estrutura do Quadro STM-N

A estrutura de quadro do STM-N é obtida basicamente através da multiplexação dos *payloads* de módulos STM-1. Além da área de carga, o STM-N também possui informações para supervisão (SOH). Assim, da mesma forma que a estrutura de quadro do STM-1, o quadro STM-N também possui três áreas principais, que são:

SOH (que compreende RSOH e MSOH)

Ponteiros da AU

Payload (que contém os VC's)

Estas áreas estão distribuídas no quadro da mesma maneira como ocorre nos quadros STM-1, de acordo com a figura anterior, variando apenas com o número de colunas de acordo com o N de cada STM-N. Na área de SOH serão 9 linhas e N x 9 colunas, e na área de carga, serão 9 linhas e N x 261 colunas.

3.2) Mapeamento / Alinhamento dos Tributários

3.2.1) Conceitos Básicos

Mapeamento é a denominação do processo de alocação de tributários em containers virtuais (VC's), para serem transportados pela rede SDH. Se o tributário for plesiócrono, o mapeamento incluirá justificação de bit.

Qualquer sinal, para ser transportado pela rede SDH, precisa ser primeiro mapeado em um dos seguintes containers síncronos: C-11, C-12, C-2, C-3 ou C-4. Os containers são estruturas que alojam os sinais a serem transportados, como por exemplo os sinais da PDH. Existe um container apropriado para cada carga útil de informação a ser transportada.

Adicionando-se aos containers bytes para supervisão da via (ou caminho) percorrida, denominados carga de supervisão da via (*Path Overhead* – POH), obtêm-se estruturas denominadas Containers Virtuais (-*Virtual Container* - VC). Os VC's são entidades gerenciáveis da SDH: o POH é utilizado para supervisionar a via a qual ele corresponde. Uma vez obtidos os VC's, a próxima etapa é a adição de ponteiros, que marcam a posição do primeiro byte do VC dentro do quadro que aloja esse sinal. Isto possibilita ajustes de frequência entre os VC's e as estruturas de ordem superior. A combinação de um VC de ordem inferior e um ponteiro é denominada Unidade Tributária (*Tributary Unit - TU*) e a fase do quadro codificada é denominada ponteiro de TU. Estão definidos as seguintes TU's pelo **ITU-T**: TU-11, TU-12, TU-2 e TU-3.

A combinação de um VC de ordem superior e um ponteiro é denominada Unidade Administrativa (*Administrative Unit* – AU) e a fase do quadro codificada é denominada ponteiro de AU. Estão definidos os seguintes AU's pelo ITU-T: AU-3 e AU-4.

A organização da carga útil de um STM-1 pode ser obtida através de uma AU-4, ou de três AU-3 ou de 21 TU-12, ou ainda uma combinação entre ambos. A figura abaixo ilustra o processo de mapeamento e alinhamento na formação do STM-1.

Alinhamento é a denominação do processo de alocação de containers virtuais nos espaços de carga dos quadros (TU ou AU).

- **TU-11**: Cada quadro TU-11 consiste de 27 bytes, composto de 3 colunas de 9 bytes. A uma taxa de repetição de quadros de 8.000 Hz, esta estrutura têm capacidade de transporte de 1,728 Mbit/s e acomoda o mapeamento de um sinal de 1,544 Mbit/s (DS1). Oitenta e quatro TU-11 podem ser multiplexados no VC-4 do STM-1.

- **TU-12**: Cada quadro TU-12 consiste de 36 bytes, composto de 4 colunas de 9 bytes. À taxa de repetição de quadros de 8.000 Hz, esta estrutura têm capacidade de transporte de 2,304 Mbit/s e acomoda o mapeamento de um sinal de 2,048 Mbit/s (CEPT). Sessenta e três TU-12 podem ser multiplexados no VC-4 do STM-1.

- **TU-2**: Cada quadro TU-2 consiste de 108 bytes, composto de 12 colunas de 9 bytes. A uma taxa de repetição de quadro de 8.000 Hz, esta estrutura têm capacidade de transporte de 6,912 Mbit/s e acomoda o mapeamento de um sinal DS-2 (norte-americano). Vinte e um TU-2 podem ser multiplexados no VC-4 do STM-1.

- **TU-3**: Cada quadro TU-3 consiste de 774 bytes, composto de 86 colunas de 9 bytes. A uma taxa de repetição de quadro de 8.000 Hz, esta estrutura têm capacidade de transporte de 49,54 Mbit/s e acomoda o mapeamento de um sinal DS-3 (norte-americano) ou 34 Mbit/s (CEPT). Três TU-3 podem ser multiplexados no VC-4 do STM-1.

O transporte para tributários de velocidades menores é fornecido por TU's, que fornecem suporte para o transporte e comutação da carga útil cuja capacidade é menor que a fornecida pelo VC-4. A estrutura de quadro da TU se encaixa perfeitamente no VC-4, de modo a simplificar a multiplexação dos TU's. Um número fixo de TU's (completos) podem ser montados dentro do C-4 de um VC-4.

A área de Container de cada VC-4 é responsável pelo suporte de transporte de um sinal de tributário específico. O container do VC-4 (representado por C-4) compreende 2.340 bytes, estruturados como 260 colunas de 9 bytes. Estes bytes proporcionam a capacidade de transporte de 149,76 Mbps com a taxa de repetição de quadro de 8.000 Hz. Esta capacidade foi especificada para acomodar o transporte de sinais tributários de 140 Mbps.

Uma área de cada VC-4 é também alocada para *Path Overhead* de alta ordem. A capacidade desse sinal proporciona as facilidades (como as de monitoração de alarme e monitoração de desempenho) necessárias para suportar e manter o transporte dos VC-4 entre as extremidades onde são montados ou desmontados.

A figura 3.9 apresenta a estrutura de formação do STM-1, identificando os vários conceitos referentes à SDH. São mostrados os conceitos de mapeamento, alinhamento (processamento de ponteiro) e de multiplexação. Esta estrutura foi definida para o Brasil, através da prática da antiga Telebrás, onde só aparecem os containers C-12, C-3 e C-4.

Os containers virtuais de ordem superior VC-4 são organizados de modo que seus bytes se distribuam em intervalos de 125 μs, correspondentes à duração de um quadro STM-1, e são compostos do mapeamento de um container C-4→VC-4 ou da multiplexação de um conjunto de três TUG-3→VC-4 (são inseridos também 18 bytes de justificação fixa). Associando um ponteiro à estrutura do VC-4, obtemos um AU-4. O ponteiro de AU-4 indica a localização do primeiro byte do VC-4, que possui posição fixa no quadro STM-1.

O conceito de um tributário (tal como um sinal de 140 Mbps) sendo montado em um container virtual para ser transportado para a ponta através de uma rede síncrona é fundamental na forma SDH. Como foi dito, este processo de montagem de um sinal tributário em um VC é conhecido como mapeamento.

A fim de propiciar uniformidade através de todas as capacidades de transporte da SDH, a capacidade da carga útil fornecida para cada sinal de tributário individual é sempre um pouco maior do que a requerida pelo sinal tributário. Todavia, a essência do processo de mapeamento é sincronizar o sinal tributário com a capacidade da carga útil fornecida pelo transporte. Isto é obtido através da adição de bits extras de enchimento ao feixe do sinal como parte do processo de mapeamento.

Por exemplo, um sinal tributário de 140 Mbps necessita ser sincronizado com a capacidade de uma carga útil de 140,76 Mbps fornecida pelo C-4.

A adição do *Path Overhead* completa a montagem do VC-4 e aumenta a taxa de transmissão de bit do sinal composto a 150,34 Mbit/s. A figura abaixo ilustra este processo de montagem.

No ponto de saída da rede síncrona, o sinal do tributário deve ser recuperado do container virtual. Este processo é conhecido como “desmapeamento”.

O container virtual compreende o *Path Overhead,* o sinal do tributário e bits adicionais de enchimento os quais foram adicionados de modo a sincronizarem a taxa de transmissão dos tributários com a capacidade da carga útil disponível para transporte. Todavia, a essência do processo de "desmapeamento" é de dessincronizar o sinal composto do container virtual. Este sinal tributário recuperado deve então sair, tanto quanto possível, em sua forma original.

Portanto, por exemplo, um VC-4 carregando um sinal de 140 Mbit/s chega à seção de desmontagem com taxa de transmissão de 150,34 Mbit/s. O processo de desontagem é o inverso do processo descrito acima.

O *payload* de informação pode transportar um sinal de 139.264 kbit/s distribuído da seguinte forma:

- Cada uma das 9 linhas é particionada em 20 blocos de 13 bytes;
- Em cada linha existe um bit de justificação positiva (S) e 5 bits de controle de justificação (C), totalizando 9 bits de justificação positiva por quadro STM-1.

Existem quatro maneiras de se compor o primeiro byte de cada bloco, a saber:

- Oito bits de informação I (byte W);
- Oito bits de enchimento (R) (byte Y);
- Um bit de controle de justificação (C) mais cinco bits de enchimento (R) mais dois bits de "*overhead*" (O) (byte X);
- seis bits de informação (I) mais um bit de oportunidade de justificação (S) mais um bit de enchimento (R) (byte Z).

Os últimos 12 bytes de cada bloco contêm bits de informação (I). A figura 3.14 mostra a estrutura contendo todos os bytes citados, em um mapeamento assíncrono de um tributário de 139,264 Mbit/s em um VC-4.

Os bits (O) são reservados para comunicações adicionais de *overhead*.

O conjunto de 5 bits de controle de justificação (C) em cada linha, é usado para definir a ocorrência ou não de justificação no bit de oportunidade de justificação (S).

Se CCCCC=00000, indica que o bit S conterá informação, caso contrário (CCCCC=11111), indica que o bit S conterá enchimento.

A decisão de justificação deverá ser feita usando votação majoritária, de forma a garantir proteção contra esses erros simples e duplos nos bits C.

O conteúdo de S, quando for bit de justificação, não possui valor definido. O receptor deverá ignorar o valor de S quando esse bit for usado para justificação.

Neste mapeamento, o tipo de justificação utilizada é a justificação positiva. Em cada linha, existe uma oportunidade de justificação (S) e cinco bits de controle de justificação (C), totalizando 9 bits de oportunidade de justificação por quadro de 125 μs. Isto possibilita a acomodação de ± 15 ppm de variação de taxa em relação à nominal (139,264 Mbps). Quando o tributário está na taxa nominal, dois bits S são utilizados para transportar informação e os sete restantes contêm enchimento. O número total de bits por quadro para o VC-4 é 18.792, sendo 17.406 bits de informação.

"Jitter" de mapeamento:

O processo de justificação para a formação do container é em tudo semelhante ao processo de justificação utilizado em quadros PDH. Do mesmo modo que na PDH, a sucessão irregular dos bits de justificação causa um certo "jitter" de tempo de espera, com uma envoltória de baixa frequência. No caso da SDH, esse "jitter" chama-se "jitter"de mapeamento ou "jitter" de justificação. Uma das medições importantes nos equipamentos SDH com interfaces plesiócronas consiste em verificar o espectro desse

"jitter", simulando variações de velocidade da carga plesiócrona dentro dos limites admissíveis.

3.2.3) Mapeamento Assíncrono / Alinhamento de 34 Mbit/s

Um tributário de 34,368 Mbps pode ser mapeado em um VC-3, que é composto por um POH e por um conjunto de 9 x 84 bytes de informação (*payload*), que se repetem a cada período de 125 μs. Como pode ser visto na figura abaixo, o C-3 comporta um sinal de 34,368 Mbps, incluindo bits de justificação além de bytes de enchimento, totalizando 756 bytes.

A função dos bytes do cabeçalho POH do VC-3 segue a do VC-4, que foi descrita anteriormente.

O container C-3 pode ser mapeado/alinhado dentro de um AU-4 de um STM-1, ou também pode ser mapeado/ alinhado dentro de um AU-3 de um STM-0 (no caso dos rádios digitais síncronos). A figura 3.14 mostra a formação do quadro STM-1 a partir do Container (C-3).

O conjunto de informações (*payload*) é dividido em 3 sub-quadros, cada um composto por:

1431 bits de informação (I);

Dois conjuntos de 5 bits de controle de justificação (C1, C2);

Dois bits de oportunidade de justificação (S1, S2);

573 bits fixos de enchimentos (R).

Os dois conjuntos de 5 bits de controle de justificação C1 e C2, são usados para definir se haverá ou não justificação dos bits S1 e S2, respectivamente. Em termos de justificação, o tipo utilizado é positiva-zero-negativa, possibilitando a acomodação de ± 20 ppm de variação de taxa em relação à nominal (34,368 Mbit/s). O bit S2 é utilizado para

justificação positiva, enquanto que S1 é utilizado para justificação negativa.

C1 C1 C1 C1 C1 = 0 0 0 0 0 → indica que S1 é informação

C1 C1 C1 C1 C1 = 1 1 1 1 1 → indica que S1 é um bit de enchimento.

C2 controla S2 da mesma forma.

A decisão de justificação deverá ser feita na recepção, usando votação majoritária, de forma a garantir proteção contra erros simples e duplos nos bits C. Os conteúdos de S1 e S2, quando tiverem bits de justificação, não possuem valores definidos. O receptor irá ignorar os valores de S1 e S2 quando forem usados para justificação.

O mesmo mapeamento pode ser utilizado para o sinal de 34.368 kbit/s síncrono a nível de bit, ou a nível de byte. Para esses casos, o bit S1 será sempre enchimento e o bit S2 será sempre informação.

Para permitir que o mesmo dessincronizador possa ser utilizado em qualquer tipo de mapeamento (síncrono ou assíncrono), os bits C1 devem ser fixados em “1” e os bits C2 em “0”.

3.2.4) Mapeamento/Alinhamento de 2 Mbit/s

O mapeamento do tributário de 2 Mbit/s em um VC-12 pode ser um mapeamento assíncrono, mapeamento síncrono a nível de bit (este mapeamento não está mais definido pelo ITU-T) ou mapeamento síncrono a nível de byte.

As principais características dos três mapeamentos são:

Mapeamento assíncrono: Permite o mapeamento de um tributário de 2 Mbit/s com qualquer estrutura de quadro; Não permite visibilidade dentro do VC-12 de qualquer sinal integrante do tributário; Utiliza o processo de justificação de bit para o mapeamento, possibilitando que o tributário seja um sinal com

tolerância de ± 50 ppm; tem uso geral onde não seja necessária a visibilidade dos sinais integrantes do tributário.

Mapeamento síncrono a nível de bit: Este mapeamento não está mais definido pelo ITU-T. Permite o mapeamento de um tributário de 2 Mbit/s com qualquer estrutura de quadro; Não permite visibilidade dentro do VC-12 de qualquer sinal integrante do tributário; Só realiza o mapeamento de tributário síncrono com o VC-12, já que não utiliza o processo de justificação de bit; Este mapeamento é um subconjunto do mapeamento assíncrono. O processo de justificação não é necessário.

Mapeamento síncrono a nível de byte: Requer que o tributário de 2Mbit/s tenha a estrutura de quadro conforme antiga Prática Telebrás sobre "Especificações Gerais de Equipamentos Multiplex MCP-2048 kbit/s – MCP 30 B"; Permite a visibilidade dos dados do tributário. Isto é possível pois os canais de 64 Kbps bem como a estrutura de sinalização ocupam posições conhecidas na estrutura do VC-12; Só realiza o mapeamento de tributário síncrono com o VC-12 já que não utiliza o processo de justificação de bit; Tem a aplicação na interconexão com a PDH no mapeamento do tributário de 2 Mbit/s com estrutura de quadro com 30 ou 31 canais e TS0 ou com estrutura de quadro baseada em canais de N x 64 kbit/s e TS0.

Em função da aplicação da rede, o mapeamento síncrono a nível de bit e o mapeamento síncrono a nível de byte podem ser feitos de dois modos:

Modo *floating* (flutuante);

Modo *locked* (amarrado) - Este modo não está mais definido pelo ITU-T.

No modo *floating* os tributários de 2 Mbit/s são mapeados em VC-12, e a cada VC-12 é associado um ponteiro de TU-12. Assim, cada VC-12 pode

variar em fase e freqüência (*floating*) com relação aos outros VC-12 de VC de ordem superior. Neste modo é possível em qualquer nó da rede derivar e inserir um VC-12 devido à presença do ponteiro de TU-12 e do POH de VC-12.

O modo flutuante foi projetado para minimizar o atraso da rede e prover conexão eficiente dos sinais de transporte a nível de TU. E isto é conseguido permitindo que cada VC de TU flutue com respeito a VC-4. Cada VC de TU tem seu próprio ponteiro, o qual acomoda a temporização de sincronização associada com os TU's individuais, enquanto evita o uso de memórias elásticas indesejáveis nos pontos de conexão cruzada. Consequentemente, o modo flutuante suporta a capacidade de rede SDH para os níveis de TU.

O modo *locked* é uma simplificação do modo *floating*. Pode ser usado quando um conjunto de tributários de 2 Mbit/s (21 no caso do AU-3 ou 63 no caso do AU-4) é transmitido ponto-a-ponto em um VC-N sem derivação ou inserção de tributários em nós intermediários, neste modo, não há POH de VC-12 nem ponteiro de TU-12. Um VC-12 não pode variar em fase ou frequência com relação aos outros dentro do VC-N (*locked*) . O POH utilizado para monitorar a via do conjunto de tributários é o POH do VC-N. O ponteiro associado ao conjunto é o ponteiro de AU-3 ou de AU-4.

O modo amarrado foi projetado para minimizar a complexidade de interface e suportar transporte ponto-a-ponto de sinais de 2 Mbit/s em aplicações de comutação digital. Isto é conseguido pela "sincronização" de VC de TU individuais em posições fixas em relação ao VC-4. Ponteiros de TU não são requeridos neste modo e, portanto, não fornecidos.

a) Mapeamento Assíncrono

A estrutura de quadro de um VC-12 tem período de 500 μs, sendo composta por um POH de um byte (V5) e por um *payload* (C-12) contendo 139 bytes.

O C-12 é constituído por 1023 bits de informação (bit I), dois bits de oportunidade de justificação (S1 e S2), dois conjuntos de três bits de controle de justificação (C1 C1 C1 e C2 C2 C2) e oito bits reservados para o uso futuro como *overhead* (bits O). os bits restantes são bits de enchimento (bits R).

Os 1023 bits I juntamente com os bits S1 e S2 destinam-se à alocação dos bits do tributário de 2 Mbit/s. Os conjuntos de três bits de controle de justificação C1 C1 C1 e C2 C2 C2 indicam se os bits S1 e S2 são bits de justificação. O bit S2 é utilizado para justificação positiva enquanto que o bit S1 é utilizado para justificação negativa.

A condição C1 C1 C1 = “000” indica que S1 é um bit de informação enquanto que C1 C1 C1 = “111” indica que S1 é um bit de enchimento cujo conteúdo deverá ser ignorado no receptor. O receptor deve utilizar detecção majoritária na interpretação dos bits C1 de forma a garantir proteção contra erros simples. O conjunto de bits C2 controla o bit S2 de forma semelhante.

Os equipamentos deverão contemplar, obrigatoriamente, este tipo de mapeamento.

A conversão utilizada no processo de justificação positiva e negativa para o tributário de 2 Mbit/s é a mesma utilizada para o tributário de 34 Mbit/s.

Neste mapeamento, o tipo de justificação utilizado é a *justificação positiva-zero-negativa*. O bit S1 é a oportunidade de justificação negativa e o bit S2 é a oportunidade de justificação positiva. Esses dois bits possibilitam a acomodação de ± 50 ppm de variação da taxa em relação à nominal (2,048 Mbit/s). Quando os sinais plesiócronos estão exatamente na taxa nominal, então S2 = informação e S1 = enchimento. Isto resulta em um número inteiro de bytes de informação por quadro de 125 μs (32 bytes para o VC-12). Essa foi uma das premissas para a escolha da justificação positiva-zero-negativa. É interessante para efeito de *cross-connect* que haja um número inteiro de bytes de informação por quadro da SDH.

A figura 3.17 mostra como um tributário de 2 Mbit/s assíncrono pode ser mapeado em um VC-12.

Assim, nos multiplexadores da SDH o processo de justificação teve que se adaptar ao formato do quadro estabelecido, ao contrário do que ocorreu com os multiplexadores da PDH, nos quais o formato do quadro podia ser alterado em função do processo de justificação. O formato do quadro da SDH é adequado para a localização de canais telefônicos (cada byte em um quadro é 64 Kbps). O número total de bits por multiquadro de 500 μs para o VC-12 é 1.120, sendo 1.023 bits de informação.

b) Mapeamento Síncrono a Nível de Bit

Este mapeamento não está mais definido pelo ITU-T.

No modo *floating* o mapeamento síncrono a nível de bit é um caso particular do mapeamento assíncrono, onde os bits C1 são fixos em “1”, os bits C2 são fixos em “0”, o bit S1 é um bit de enchimento e o bit S2 é um bit de informação (I). Não é necessária a justificação de bit pois o tributário de 2 Mbits/s tem a mesma freqüência do VC-12.

Na representação do modo *locked* pode ser observada a ausência do POH de VC-12 (byte V5). Um conjunto destas estruturas de 125 μs é mapeado em um VC-N.

O mesmo dessincronizador pode ser utilizado para o mapeamento de 2Mbit/s assíncrono e síncrono a nível de bit. Neste caso, o bit S1 será sempre enchimento e o bit S2 será sempre informação (bits S1 e S2 sem justificação).

Para tornar isso possível, os bits C1 devem ser fixados em 1 e os bits C2 em zero. Este tipo de mapeamento não possibilita a visibilidade dos canais de 64 kbit/s do sinal original.

c) Mapeamento Síncrono a Nível de Byte

Essa classe de sinais é derivada de um mesmo relógio de alta estabilidade distribuído pela rede. A tendência é que eles sejam os mais numerosos devido à expansão das centrais de comutação digitais. Essa é também a classe de sinais para a qual a SDH tem sido otimizada. A utilização deste tipo de mapeamento permite a visibilidade dos canais 64 Kbit/s dentro da estrutura de quadro, pois os sinais são mapeados em posições fixas dentro do VC. As variações de fase do VC, que ocorrem devido a variações nesses sinais, são acomodadas pelo mecanismo de ajuste de ponteiro. Os sinais de 64 K e n x 64 Kbit/s que transportam outros serviços além da voz também são incluídos nessa classe de sinais.

Os sinais síncronos de 64 kbit/s são normalmente agrupados em 30 canais no sistema europeu (MCP-30) para serem transmitidos no primeiro nível da PDH (2,048 Mbit/s). O mapeamento síncrono a nível de byte foi desenvolvido para o VC de ordem inferior (VC-12) que opera com esse sinal da PDH. Isto facilita a transição da PDH para a SDH.

Este tipo de mapeamento pode utilizar Sinalização por Canal Associado (*Channel Associated Signalling – CAS*) ou Sinalização por Canal Comum (*Common Channel Signalling – CCS*). No sistema europeu, a CAS é transportada no canal 16, formando multiquadro de 16 quadros. Nesse tipo de sinalização, a informação de sinalização de cada canal é transportada de forma seqüencial (associada com os canais do usuário). Na sinalização por canal comum, a informação de sinalização é transferida completamente separada do canal. Esses canais de sinalização constituem uma rede de sinalização independente, baseada em troca de mensagens que são completamente separadas da rede de informação do usuário. Algumas vantagens da CCS são a transferência da informação simultaneamente com a informação do usuário e a possibilidade de controlar aproximadamente 2.500 usuários simultaneamente num canal de 64 kbit/s.

Os bits S1, S2, S3 e S4 contêm a sinalização dos 30 canais de 64 kbit/s. O ciclo de sinalização dura 16 quadros de 125 μs. A cada quadro, excluindo-se o quadro 0, é transmitida a sinalização de dois canais.

A diferença entre o mapeamento de um tributário com CAS e com CCS é que, no caso do sinal de 2,048 Mbit/s, o byte 19 (canal 16) transporta a CCS.

Os equipamentos deverão contemplar, obrigatoriamente, este tipo de mapeamento no modo *floating* com CAS e CCS.

3.2.5) Mapeamento de Células ATM

Na tecnologia ATM (*Assynchronous Transfer Mode*) a informação é alocada em células, e estas células são assíncronas com relação à chegada no equipamento de transporte. O Tamanho da Célula ATM foi padronizado em 53 bytes, sendo 48 bytes de informação (*payload*) e 5 bytes de *overhead*. Células são transmitidas através de conexões com circuitos virtuais, sendo seu encaminhamento baseado na informação de um cabeçalho contido em cada uma delas. Tal tecnologia é capaz de suportar diferentes serviços, para satisfazer aos requisitos exigidos pelos diferentes tipos de tráfego, a altas taxas de transmissão.

Antes de serem mapeadas nos containers SDH, as células ATM passam por uma interface onde são adaptadas à SDH. Além disso, nessa interface o campo de informação de cada célula é embaralhado. O embaralhador deve operar somente durante o campo de informação das células. Durante os 5 bytes do *overhead*, a operação deve ser suspensa e o estado do embaralhador mantido. O embaralhamento aumenta a segurança e a robustez do mecanismo de delimitação de células contidos *overhead*, denominado HEC (*Header Error Control*).

Após a chegada, as células podem ser mapeadas em um container do SDH ou podem ter uma transmissão pura de células ATM.

Um feixe de células ATM geralmente é mapeado em um container C-4. A seguir, bytes de POH são adicionados ao container, gerando um *virtual container* VC-4.

a) Limitações do STM

O Modo de Transferência Assíncrono (ATM) tenta eliminar as limitações do STM, tirando vantagem do ganho estatístico de serviços com tráfego de taxa variável, ao mesmo tempo garantindo um desempenho aceitável paa serviços de taxa contínua.

Ao contrário do STM, um canal não é identificado pela posição fixa de um de seus *slots* em uma estrutura recorrente no tempo. No ATM, a banda passante é dividida em segmentos fixos de informação, as células ATM. Assim, um canal ATM é identificado por seu rótulo, que representa a conexão com circuito virtuale stabelecida para o transporte das células de um serviço, e não por uma posição fixa no tempo.

A inexistência de alocação e monopolização de canais de serviço evita os problemas de complexidade e flexibilidade. Os mesmos comutadores podem ser utilizados para o chaveamento de todos os serviços de forma transparente. Redes baseadas em ATM podem ser projetadas de forma a aproveitar melhor os meios de comunicação na presença de tráfego contínuo. Embora o ATM não seja tão eficiente quanto o STM para tráfego contínuo com taxa constante no tempo, em relação à utilização da capacidade do meio e ao retardo (devido ao *overhead* adicional do cabeçalho e ao tempo necessário para montar uma célula de informação), esse fato não é o bastante para se sobrepor as vantagens do ATM.

b) ATM vs SDH / SONET

As recentes tendências no mercado de telecomunicações exigem estratégias minuciosas dos provedores de serviços baseados em redes SDH / SONET e DWDM (*Dense Wavelenght Division Multiplexer*) na introdução

da tecnologia ATM, para proteger investimentos passados e futuros. Tais estratégias devem permitir uma evolução atraente da rede.

Comparando o STM (*Synchronous Transfer Mode*) com a tecnologia ATM, o ATM oferece uma maior flexibilidade no provisionamento de serviços aos usuários finais, e isto também facilita um uso econômico da capacidade de transporte. As operadoras de redes irão fazer um *upgrade* em seus sistemas SDH/SONET existentes para tirar vantagem da tecnologia ATM ou irão estender suas redes usando uma cobertura ATM.

Considerando a grande variedade de possíveis arquiteturas de serviços, e a incerteza no período de adaptação por uma grande demanda por tráfego ATM, é muito importante possuir uma arquitetura flexível com respeito ao elemento de rede (NE), capaz de acomodar uma provável evolução do cenário nos diferentes segmentos do mercado. Uma demanda variada por tráfego ATM irá exigir opções de transporte ATM híbridas e puras, embutidas na rede local de acesso.

3.3) Métodos de Multiplexação Síncrona

3.3.1) Processos de Multiplexação (Entrelaçamento de Bytes)

Foi visto que o tempo básico de repetição utilizado em comunicações digitais é de 125μs. Utilizando palavras de 8 bits, resultou na taxa básica de 64 Kbit/s que foi padronizada pela RDSI, a fim de atender a uma grande variedade de serviços. Na PDH utiliza-se intercalação plesiócrona de bits, enquanto na SDH este conceito é estendido intercalando-se bytes em quadros de 125μs. Esse formato permite o uso eficiente de comutadores com estágio de comutação e multiplexação do tipo *add-drop* (insere-deriva) e é adequado para transportar serviços baseados em 64 Kbps e seus múltiplos.

Conforme visto anteriormente, existem várias possibilidades para formação de um quadro STM-1, como por exemplo:

1 TUG-3 a partir de 1 TU-3 ou 7 TUG-2s

1 TUG-2 a partir de 3 TU-12s

1 AUG a partir de 1 AU-4

1 STM a partir de 1 AUG

Além disso, pode ser feita uma multiplexação de 4 AUG's para formação de um STM-4 ou 16 AUG's para formação de um STM-16. Esse processo é chamado de entrelaçamento de bytes e é descrito na figura 3.20.

Cabe salientar que, quando se forma um STM-4 a partir de um entreleçamento de bytes, o SOH fica com uma capacidade quatro vezes maior que a de um SOH de um STM-1, porém nem todos os bytes se repetem.

Quando se forma um STM-4 a partir de quatro STM-1, torna-se necessário, antes do entrelaçamento de bytes, um ajuste de fase dos VC's de

cada STM-1 através de processamento de ponteiros de AU's individuais. Dessa forma, poderão ser multiplexados os quatro AUG's dos quatro STM-1 com a mesma referência de fase, formando o quadro STM-4. O demultiplexador STM-4, por sua vez, encontrará os AU's síncronos dentro dos STM-1. Dentro de cada STM-1, os VC's serão identificados pela referência de *offset* contida nos ponteiros de AU.

O mesmo procedimento deve ser feito para a formação de um STM-16 a partir de quatro STM-4, ou seja, para cada STM-4 é feito um acesso aos ponteiros de AU (de cada STM-1), ajusta-se o *offset* dos mesmos de acordo com a referência de fase do multiplexador STM-16, para então fazer o entrelaçamento de bytes dando origem ao quadro STM-16.

Na SDH, a multiplexação possui funções de adaptação de velocidade para os tributários (plesiócronos) e multiplexação síncrona para os agregados (síncronos). Existem dois procedimentos distintos para a implementação destas funções, que são respectivamente: formação do módulo de transporte síncrono (STM-1) e multiplexação em níveis mais altos por intercalamento de bytes (STM-4, STM-16, STM-64).

Todos os níveis hierárquicos têm a mesma estrutura de quadro, não sendo necessário nenhum cabeçalho ou *overhead* extra para as velocidades mais altas.

3.3.2) Formação dos TUG's

Essencialmente, o quadro da Unidade Tributária (*Tributary Unit*-TU) representa uma miniestrutura de transporte. Ele possui os atributos de um quadro de transporte SDH, mas é carregado dentro do STM-1.

Um quadro TU é criado pelo mapeamento de um tributário no container do TU, acrescentando um *overhead* de via de baixa ordem para criar o container virtual do TU (VC-11, VC-12, VC-2 ou VC-3), e associando este VC a um quadro TU, sendo este o único elemento da seção de *overhead* do TU. O quadro do TU é então multiplexado em um lugar fixo do VC-4.

O TU-12 foi projetado para acomodar um tributário de 2Mbit/s. Sua estrutura de 4 colunas e 9 linhas se encaixa perfeitamente na estrutura de 9 linhas do VC-4. 63 TU-12's podem ser agrupados nas 260 colunas da capacidade de carga útil do C-4. Sobram 8 colunas que são utilizadas no processo de enchimento de bytes nas etapas intermediárias de multiplexação, o qual permite que a estrutura do sinal VC-4 do STM-1 seja

b) Formação do TUG-3 a partir de TU-3 ou TUG-2

A estrutura de um TUG-3 é idêntica à de um TU-3 possuindo portanto 9 x 86 bytes. Logo, a estrutura da TU-3 possui uma correspondência direta com a estrutura de um TUG-3.

A formação de um TUG-3 a partir de 7 x TUG-2 envolve uma multiplexação temporal além da inserção de duas colunas de enchimento.

A estrutura matricial de um TUG-3 é composta por 9 linhas e 86 colunas totalizando 774 bytes. Nos três primeiros bytes da primeira coluna está contida uma indicação de inexistência de ponteiro NPI (*Null Pointer Indication*). O NPI indica se o TUG-3 é composto por 1 x TU-3 ou por 7 x TUG-2's. O TUG-3 possui localização fixa dentro do quadro do VC-3/VC-4.

3.3.3) Formação dos AUG's

Um VC-4 é uma estrutura de 9 linhas por 261 colunas. Associando-se um ponteiro a essa estrutura, obtém-se a AU-4.

O ponteiro de AU-4 indica a localização do primeiro byte do VC-4, sendo que este ponteiro possui posição fixa no quadro STM-1.

O AUG tem origem na multiplexação de 3 AU-3 ou 1 AU-4. Nesse caso, devido à utilização de apenas uma AU, a AU-4 coincide com o AUG. O AUG possui localização fixa dentro do quadro STM-1.

Um AUG também pode ser obtido através do entrelaçamento byte a byte de 3 AU's. Esta estrutura de multiplexação não é definida pela prática das operadoras que formavam a antiga Telebrás.

a) Formação do AU-4 a partir de TUG-3 ou 139.264 Kbit/s

Um VC-4 pode ser formado pela multiplexação de 3 x TUG-3's. Associando um ponteiro de AU-4 ao VC-4 obtemos a estrutura AU-4.

Além da multiplexação, torna-se necessária a inclusão de uma coluna (9 bytes) de POH contendo monitoração de desempenho, manutenção e alarmes da via, além de outras duas colunas de enchimento, resultando em uma estrutura de 9 linhas por 261 colunas, totalizando 2.349 bytes.

Já a formação de um VC-4 a partir de um tributário de 139.264 Kbit/s se faz através do mapeamento direto de um C-4 em VC-4. O tributário é inserido no container C-4, aonde é justificado. O C-4 é uma estrutura composta de 9 linhas por 260 colunas. Acrescenta-se então uma coluna de 9 bytes contendo o POH, formando o VC-4. Associando-se um ponteiro de AU-4 ao VC-4 obtemos a estrutura AU-4.

b) Formação do AU-3 a partir de TUG-2 ou 34.368 Kbit/s

Esta estrutura de multiplexação não é definida como um padrão pelas operadoras que até então formavam a Telebrás, mas pode ser utilizada para os rádios digitais síncronos trafegando a taxa de 51,84 Mbit/s (STM-0).

Um VC-3 de ordem superior pode ser formado por multiplexação de 7 x TUG-2's. Associando um ponteiro de AU-3 ao VC-3, obtemos a estrutura AU-3.

Além da multiplexação, torna-se necessária a inclusão de uma coluna (9 bytes) de POH contendo monitoração de desempenho, manutenção e alarmes de via, resultando em uma estrutura de 9 linhas por 85 colunas, totalizando 765 bytes.

Já a formação de um VC-3 a partir de um tributário de 34.368 Kbit/s se faz através do mapeamento direto de um C-3 em VC-3. O tributário é inserido no container C-3, aonde é justificado. O C-3 é uma estrutura composta de 9 linhas por 84 colunas. Ao C-3 é acrescentada uma coluna contento POH, formando um VC-3, que por sua vez é associado a um ponteiro de AU-3 dando origem a estrutura AU-3.

Em ambos os casos é necessário acrescentar duas colunas de enchimento ao VC-3 para formar o AU-3. Isto é necessário para

compatibilizar a multiplexação de 3 AU-3's (87 x 9 bytes) com o AUG (261 x 9 bytes).

3.3.4) Formação dos STM-N's

A idéia de ajuste dos ponteiros pode ser explicada com uma analogia ao sistema de transportes rodoviários, como foi feito anteriormente. Nem todos os caminhões que chegam na estação de embarque podem chegar exatamente quando deveriam. Antes que as cargas sejam transferidas para um caminhão maior, toda a informação relativa ao seu tempo de chegada e posição deve ser comunicada ao novo motorista. A nota de embarque para o novo caminhão maior deverá conter a posição de início e término de cada "sub-carga" . Na chegada, o motorista pode usar a informação para recriar as cargas menores e também extrair as relações de tempo entre estas. Se as regras do serviço de entrega impuserem que as cargas que chegarem primeiro devem ser entregues primeiro, então a informação de tempo é igualmente importante. A transferência de cargas deve manter intacta a diferença no tempo de chegada das cargas.

Antes que qualquer multiplexação STM-N possa ser executada no equipamento da rede SDH, os sinais de transporte devem ser primeiramente sincronizados com o equipamento de rede.

No lado de entrada de um equipamento SDH, os sinais individuais de transporte SDH podem estar desalinhados tanto em temporização de fase como em taxa de transmissão de bit. Após a sincronização de quadro, os sinais individuais de transporte são alinhados tanto em temporização de fase como em taxa de transmissão de bit.

No processo de sincronização de quadro, a parte do *section overhead* e a parte do VC-4 dos sinais transportados são manipulados diferentemente. Grupos de quadros de transporte podem ser empacotados para transporte como sinais de transporte síncrono de hierarquia maior.

Grupamentos de hierarquia mais elevada são obtidos pelo processo de multiplexação por entrelaçamento de byte, onde feixes paralelos do sinal de

transporte são misturados conjuntamente byte a byte. Esses feixes paralelos de sinal de transporte são obrigados a ter a mesma estrutura de quadro e taxa de transmissão de bit e adicionalmente devem ser síncronos um em relação ao outro.

Por exemplo, quatro sinais STM-1 paralelos e com sincronização de quadro podem ser multiplexados por entrelaçamento de byte para formar um sinal STM-4 a 622 Mbit/s (quatro vezes a taxa de transmissão do STM-1).

A multiplexação por entrelaçamento de byte é obtida extraindo-se um byte de cada vez, de cada tributário na entrada e colocando-o no sinal de maior velocidade na saída.

O sinal STM-4 é montado pelo entrelaçamento de byte de 4 quadros síncronos do sinal STM-1. Consequentemente, um mapa bidimensional do quadro do sinal STM-4 possui as mesmas 9 linhas de profundidade que o sinal STM-1, mas tem 1.080 colunas, que é 4 vezes o número de colunas do STM-1. A capacidade total do STM-4 é, portanto, 9.720 bytes por quadro ou 77.760 bits. Com estas dimensões de quadro e com uma taxa de repetição de 8.000 quadros por segundo, a taxa de transmissão do STM-4 é 622,08 Mbit/s (note qua a taxa de repetição do sinal SDH é 8.000 quadros por segundo, independente do nível hierárquico).

O mapa bidimensional do sinal STM-4 é montado retirando-se colunas individuais de cada uma das estruturas do sinal STM-1 e entrelaçando estas em uma seqüência repetitiva, ou seja, iniciando com a primeira coluna de cada STM-1, uma coluna é retirada do STM-1 número 1, seguido por uma coluna do STM-1 número 2, depois uma do número 3 e uma do número 4. Esta seqüência é repetida 270 vezes até que todas as colunas sejam montadas.

As primeiras 36 colunas do quadro STM-4 são ocupadas pelo *section overhead*. As 1.044 colunas remanescentes são ocupadas pelos sinais VC-4 associados a cada um dos quatro sinais individuais STM-1. Estes sinais são entrelaçados byte a byte por colunas como foi descrito acima.

Para um STM-N, a maior parte da carga de supervisão (S*ection Overhead*) é a mesma, qualquer que seja a taxa final de bits, porém certas características, tais como alinhamento de quadro e monitoração da taxa de erro em uma seção multiplex, necessitam de maior capacidade e são alocados mais bits para eles nas altas taxas de bits. Como a carga de supervisão não sobe muito, resulta em uma grande quantidade de bits não utilizados na área reservada para supervisão. Isto vai contra o instinto do engenheiro ou técnico de telecomunicações que está sempre procurando maior eficiência de transmissão. Porém isto reflete o fato de que em redes óticas de alta velocidade o custo é denominado por processamento nos terminais, sendo o custo do canal pequeno e tendendo a ficar menor ainda.

Como os ponteiros dão a posição exata de qualquer carga útil VC-4, esta carga útil pode ser acessada diretamente, sem a necessidade de demultiplexação do sinal de linha SDH. Este fato faz com que equipamentos como multiplexador de inserção e extração (*add Drop Mux)* e centrais de *cross-connect* SDH sejam mais simples que os sistemas de telecomunicações existentes, os quais requerem a completa demultiplexação antes do chaveamento. De modo análogo, qualquer canal individual de dados pode ser acessado dentro do VC-4.

A figura 3.23 apresenta os quadros do STM-4 e do STM-16. Pode-se notar que a formação destes dois quadros se dá através da multiplexação de estruturas AUG`s. Para o STM-4 temos 4 x AUG`s e para STM-16 temos 16 AUG`s.

Um STM-N é obtido através do entrelaçamento byte a byte de N x AUG’s, acrescidos dos bytes do *overhead* de seção de regeneração (RSOH) e dos bytes do *overhead* da seção de multiplexação (MSOH). É comum pensar que estruturas STM-N são formadas por simples multiplexação de STM-1. Qualquer STM-i que chega a um nó de terminação é desmontado para se recuperar a sua carga de supervisão e os containers virtuais de sua

carga útil. Os STM-i's que partem deste nó são reconstruídos com novas cargas de supervisão e novas multiplexações em suas cargas úteis.

3.3.5) Processo de Recuperação de Relógio (embaralhamento de bits)

Para que se garanta a recuperação de relógio na recepção, um sinal com formato de quadro STM-N deve ter uma quantidade mínima de transições. Uma forma de se conseguir um padrão binário adequado com probabilidades iguais de ocorrências de "1's" ou "0's" é através da utilização de um embaralhador na transmissão.

A operação do embaralhador é funcionalmente idêntica à de um embaralhador síncrono, com sequência de comprimento 127, operando na taxa da linha. O polinômio gerado é $1 + X^6 + X^7$.

O embaralhador começa a atuar a partir do primeiro bit após o último byte da primeira linha do SOH, já que os bytes da primeira linha do SOH não devem ser embaralhados.

O embaralhador deve atuar continuamente através do quadro STM-N completo, sendo levado ao estado "1 1 1 1 1 1 1" na posição correspondente ao primeiro bit do *payload*.

3.4) Equipamentos e Arquiteturas das redes SDH

3.4.1) Equipamentos de uma Rede SDH

A partir das diferentes configurações dos blocos funcionais estabelecidos nas recomendações do ITU-T (G.781, G.782 e G.783), aparecem diferentes tipos de configurações de multiplex. Estas configurações dependem de como são feitas as funções de montagem e desmontagem do feixe STM-1.

De forma a ilustrar uma rede constituída por elementos de transmissão síncrona, a figura 3.24 ilustra um diagrama esquemático de um anel SDH com vários tributários.

A mistura de diferentes aplicações é típica dos dados transportados por redes SDH. Redes síncronas são capazes de transmitir sinais plesiócronos e ao mesmo tempo capazes de administrarem futuros serviços como ATM. Tudo isso requer o uso de diferentes elementos de rede.

As atuais redes SDH são construídas basicamente com a utilização de quatro diferentes tipos de elementos de redes. A sua topologia (ponto-a ponto, estrela ou em anel, por exemplo) é projetada pelo provedor da rede.

a) Regeneradores

A regeneração é o processo em que o sinal digital degradado tem as características de amplitude, formas de onda e de sincronismo adequadas aos limites especificados para a sua retransmissão. O regenerador (REG) regenera o sinal agregado STM-N e o retransmite.

A seção de regeneração é definida como parte de um enlace da SDH entre dois pontos de referência adjacentes, isto é, onde o *overhead* da seção

de regeneração (RSOH) é gerado e inserido no quadro STM-N e onde, no sentido inverso, o RSOH é extraído do quadro STM-N e terminado.

Os equipamentos terminais das seções de regeneração podem ser quaisquer elementos de rede, incluindo regeneradores.

b) Multiplexador Terminal de Linha (*Line Terminal Multiplexer* - LTM)

O Multiplexador Terminal de Linha multiplexa/demultiplexa sinais tributários de 2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps e STM-1,formatando/terminando o sinal agregado STM-1.

c) Multiplexador Deriva/Insere (Add/Drop Multiplexers – ADM)

O ADM (multiplexador insere/deriva) tem a capacidade de acessar qualquer um dos sinais constituintes do sinal agregado STM-N, sem a necessidade de demultiplexar e terminar o sinal completo. Sinais plesiócronos e síncronos de baixa taxa de bits podem ser extraídos ou inseridos em feixes de bits de alta velocidade SDH por meio de ADM's. Esta característica torna possível projetar estruturas em anel, que possuem a vantagem de comutação de caminhos de *back-up* automáticos dentro de um anel num determinado evento ou falha.

d) Cross Conexão Digital (*Digital Cross-Connects* – DXC)

Este elemento de rede possui a maior variedade de funções. Ele permite o mapeamento de tributários de sinais PDH em VC's *(virtual container*s) tão bem quanto a comutação de vários *container*s, até VC-4 (inclusive).

Os tipos de conexões que os equipamentos da SDH podem realizar são os seguintes:

Unidirecional: efetua conexão em um sentido de transmissão através do elemento de rede da SDH. Pode ser usado, por exemplo , para transportar sinais de vídeo.

Bidirecional: efetua conexão nos dois sentidos de transmissão. Tem uso geral, por exemplo no caso de transmissão de sinais de voz a 64 Kbit/s.

“Broadcasting”: efetua a conexão de um VC de entrada para mais de um VC de saída. Pode ser utilizada na distribuição de sinais de vídeo (um mesmo sinal para múltiplos usuários).

“Loopback”: efetua a conexão de forma que um VC de entrada seja enviado de volta à origem. Ou seja, realiza a conexão de um VC para ele mesmo.

“Split-access”: efetua a terminação de um VC em um STM-N de entrada e insere um sinal de teste no VC correspondente no sinal STM-N de saída.

3.4.2) Arquitetura das Redes SDH (G.803)

Existem diversas maneiras de se projetar uma Rede SDH. Inicialmente, a tecnologia SDH será implementada em novas instalações, e então substituirá ou serão feitas expansões nos sistemas existentes quando eles atingirem a capacidade máxima. No nível mais simples, os novos sistemas ponto-a-ponto usarão Multiplex Terminais (*LineTerminal Multiplexer*–LTM) SDH com possibilidade de expansão para topologias SDH mais complexas.

As redes em anel são mais convenientes quando é necessária uma alta disponibilidade. No caso de uma falha, o tráfego pode ser re-roteado automaticamente em outra direção através do anel.

As estruturas em formato de estrela oferecem maior flexibilidade no caso em que a capacidade de um nó pode ser aumentada sem afetar equipamentos em outros nós.

Na interligação entre redes onde é necessária alta capacidade e flexibilidade, um SDXC seria escolhido para um nó em preferência a uma combinação de unidades de linha.

a) Topologia Ponto-a-Ponto

Os sistemas ponto-a-ponto SDH são sucessores naturais para os enlaces de 140 Mbits/s e de 565 Mbits/s existentes atualmente. Nas novas instalações, estes tributários serão substituídos em geral pelo STM-1 (155 Mbit/s) e STM-4 (622 Mbit/s).

O STM-16 (2,5 Gbit/s) será requerido em diversas localidades devido à necessidade de uma banda cada vez maior das redes.

Visto que os sistemas SDH começaram a aparecer em rotas específicas na planta existente, coexistindo com os sistemas de 140 Mbit/s e 565 Mbit/s, um ponto de grande importância é o gerenciamento de rede. Este deverá cobrir toda a rede de transmissão, incluindo tanto a rede SDH como a PDH.

A Figura 3.29 mostra um exemplo de uma rede ponto-a-ponto com equipamentos LTM e ADM, onde os ADM's apresentam facilidade de derivação/inserção de tributários.

b) Topologia em Anel (Unidirecional e Bidirecional)

Um ponto diferenciador da SDH em relação aos sistemas anteriores é a função *Add Drop Multiplexer* (ADM). Ele provê a possibilidade de inserir e retirar tributários em qualquer ADM, sob uma gerência centralizada. Com a nova configuração de inserção e extração, novos conceitos de projetos de rede para acesso local podem ser facilmente implementados, provendo maior flexibilidade na alocação de banda para diferentes usuários. Se um nó ou um enlace apresentou uma falha, ele poderá ser completamente

contornado por uma configuração das conexões no Anel STM-N que roteará o tráfego na direção oposta.

Os sistemas de transmissão por fibra óptica desempenham um papel fundamental nas redes de telecomunicações devido a seu baixo custo, relacionado com a alta capacidade de transporte e qualidade de serviço. A utilização econômica da Alta capacidade da fibra freqüentemente leva à utilização de redes em estrela. O nó central da estrela é encarregado de rotear o tráfego entre os outros nós. No entanto, este tipo de arquitetura é vulnerável a rompimento do cabo óptico e a falha nos nós, principalmente do nó central.

A Hierarquia Digital Síncrona padronizada pelo ITU-T viabiliza redes em Anel devido à fácil realização de funções de deriva/insere (*add-dropp)* em sinais agregados de alta velocidade (por exemplo 2,5 Gbits/s). Anéis tolerantes a falha (ATF's) podem ser implementados de modo a garantir 100% de disponibilidade de serviço, mesmo em casos de quebras de cabos de fibra óptica ou de falhas nos nós, pois os mecanismo de comutação são automáticos e embutidos nos equipamentos.

Arquiteturas de redes em Anel foram viabilizadas devido ao desenvolvimento da tecnologia de equipamentos da Hierarquia Digital Síncrona. Estas Arquiteturas foram classificadas quanto ao sentido de tráfego e ao mecanismo de proteção.

c) Topologia em Malha (*Mesh*)

Com a expansão da rede SDH, a combinação de chaves digitais síncronas (*cross connects* síncronos-SDXC) de alta velocidade e interconexões ópticas ponto-a-ponto formarão o núcleo das futuras redes.

Os SDXC's serão conectados em uma malha para prover diversidade de rota. O arranjo mais simples é o de três SDXC's conectados. Se o enlace

direto de um SDXC para outro falhar, a rota alternativa através do terceiro SDXC ainda estará disponível e mudanças no roteamento do agregado serão possíveis em milisegundos.

As principais características desta topologia são:

Alta Flexibilidade;

Facilidade de roteamentos alternativos;

Redes de alta capacidade.

d) Topologia Mista

Quando são adicionados anéis ADM's na estrutura de malha da rede, teremos a configuração mais flexível em uma rede SDH. A densidade de rota irá assegurar a proteção da rede. O controle flexível através de software dos elementos de rede irão acrescentar a velocidade para se prover novos serviços e para o gerenciamento da manda de passagem.

Atualmente, já existem estruturas SDH em anel nas áreas metropolitanas, dentro das grandes cidades, que permitem o acesso à rede para os usuários corporativos e os usuários residenciais para atendimento aos novos serviços. As redes MAN (*Metropolitan Area Network*) e B-ISDN (*Brodband ISDN*) têm nós SDH que fazem a interface com os anéis SDH.

Em cada nó de interface de rede, a interconexão de equipamentos de diferentes fabricantes serão asseguradas se estes obedecerem aos mesmos padrões. De qualquer maneira, haverá diferentes interpretações das mesmas (principalmente no que se refere às interpretações das funções de gerência), as quais necessitarão de testes para serem solucionadas.

A confiabilidade do *software* de gerenciamento e controle da SDH é de máxima importância. Os testes para se eliminar os problemas de *software* são essenciais para se assegurar a integridade da rede. Tais testes são

necessários cada vz que uma nova revisão de *software* for desenvolvida, geralmente, diversas vezes na vida útil do *hardware* de um elemento de rede.

3.5) Proteção em Sistemas SDH

A proteção tem como objetivo proporcionar o reestabelecimento de tráfego e de facilidades de transporte. O reestabelecimento puro e simples utiliza qualquer capacidade disponível entre os nós de rede e envolve re-roteamento de tráfego.Tem início pela gerência de rede e o processo é lento.

A proteção utiliza capacidade reservada para proteção e não envolve re-roteamento de tráfego. Tem início automático e o processo é muito mais rápido e eficiente.

3.5.1) Proteção da Seção de Multiplexação (MSP)

Considere uma rede com elementos de Hierarquia Digital Síncrona. Os bytes do MSOH (linhas 5 a 9 do SOH) serão acessados em todos os elementos de rede excetuando-se os repetidores. Denomina-se seção de multiplexação ao intervalo entre dois acessos consecutivos aos bytes de MSOH, incluindo as funções que o realizam.

O sistema de proteção de seção de multiplexação protege um enlace entre duas funções MST consecutivas, incluindo o meio físico e os repetidores existentes entre os elementos de rede.

Descrição dos blocos funcionais integrantes da comutação automática de proteção:

Adaptação à Seção de Multiplexação (*Multiplex Section Adaptation* - MSA) → Na multiplexação, processa o ponteiro de AU para indicar a fase do POH do VC-N relativa à do SOH do STM-N. Multiplexa byte a byte os AUG's para formar um quadro STN-N completo. Na demultiplexação tem a função inversa.

Proteção da Seção de Multiplexação (*Multiplex Section Protection*-MSP) → Provê capacidade de comutação do sinal para outro sistema de linha para fins de proteção.

Terminação de Seção de Multiplexação (*Multiplex Section Terminal*-MST) → Na multiplexação, gera e adiciona as linhas 5 a 9 do SOH. Na demultiplexação, tem a função inversa.

3.5.2) Anéis Tolerantes a Falhas

Os sistemas de transmissão por fibra óptica desempenham um papel fundamental nas redes de telecomunicações devido a seu baixo custo, alta capacidade e qualidade do serviço. A utilização econômica da alta capacidade da fibra frequentemente leva a utilização de redes em estrela. O nó central da estrela é encarregado de rotear o tráfego entre os outros nós. No entanto este tipo de arquitetura é vulnerável a quebras do cabo óptico e a falhas nos nós, principalmente do nó central. Uma alternativa para a topologia de rede em estrela, e que provê uma utilização econômica da alta capacidade da fibra e de equipamento é a estrutura em anel.

Um anel tolerante a falha (ATF) é um conjunto de nós dispostos em anel, onde cada nó é conectado a dois nós adjacentes através de uma comunicação duplex. Um ATF tem capacidade de transmissão e/ou equipamentos redundantes de forma a assegurar a continuidade do serviço após a detecção de uma falha no anel.

Os anéis tolerantes a falhas (ATF) ou auto-regenerativos podem ser implementados de modo a garantir 100% de disponibilidade do serviço mesmo em casos de quebra da fibra óptica ou de falha nos nós, sem a necessidade de implantação da gerência de rede (TMN), pois os mecanismos de proteção são automáticos e embutidos nos equipamentos. Anéis utilizando equipamentos SDH podem oferecer total tolerância a falhas de equipamentos e rompimentos de cabos. As topologias de redes em anéis

estão sendo muito utilizadas atualmente pelas empresas operadoras, tanto para redes de entroncamento quanto para redes de acesso.

As antigas tecnologias da rede de transporte, por exemplo PDH, apresentavam uma dificuldade muito grande de inserção/derivação de sinais em linha tornando inviável econômica e tecnicamente o uso das topologias em anel. No entanto, a tecnologia SDH viabiliza redes em anel devido a facilidade da inserção/retirada em um sinal agregado de alta velocidade, o que pode ser conseguido através do uso dos equipamentos ADM.

Os anéis auto-regenerativos ou tolerantes a falhas são também conhecidos pelo termo SHR (*Self Healing Rings*).

a) Classificação de ATF's

Um ATF é formado por um conjunto de nós dispostos em anel, onde cada nó é conectado a dois nós adjacentes através de uma comunicação *duplex*. Um ATF tem capacidade de transmissão e/ou equipamentos redundantes de forma a assegurar a continuidade do serviço após a detecção de uma falha no anel.

O ATF pode ser classificado quanto ao sentido de tráfego e ao mecanismo de proteção.

Sentido do tráfego

De acordo com o sentido em que o tráfego de serviço é transportado, o ATF pode ser classificado como unidirecional ou bidirecional.

Em um ATF unidirecional (ATF-U) o tráfego de serviço é transportado em apenas um sentido (horário ou anti-horário). O tráfego de proteção é transportado no sentido contrário ao de serviço.

Em um anel bidirecional o tráfego de serviço é transportado nos dois sentidos do anel (horário e anti-horário) sobre o mesmo caminho que usa dois canais de comunicação paralelos. A figura 3.34 mostra que o sentido

do tráfego do nó 1 para o nó 2 é transportado no sentido anti-horário (através do caminho 1-2-3) e o tráfego que retorna do nó 2 para o nó 1 é transportado no sentido horário (através do caminho 3-2-1), assim o tráfego entre os Nós A e B segue pela mesma rota bidirecional.

Uma vez que o tráfego é roteado por um único caminho entre os nós, a capacidade reserva ao longo do anel pode ser compartilhada por enlace e não dedicada a demanda total do enlace, como no caso unidirecional. Uma vez que os canais de serviço são roteados bidirecionalmente entre dois nós, duas fibras são necessárias para carregar este tráfego de serviço.

Mecanismos de Proteção

Quanto ao mecanismo de proteção, os anéis auto-regenerativos são normalmente classificados como anéis com proteção de seção de multiplexação e anéis com proteção de SNC.

Os Anéis com Proteção de Seção de Multiplexação utilizam as indicações de eventos de falha da Seção Multiplexação para efetuar a comutação. Em caso de falha de uma seção de multiplexação, é utilizada a seção de multiplexação de proteção. A coordenação da comutação da seção de multiplexação é feita pelo protocolo de Comutação Automática de Proteção (APS - *Automatic Protection Swichting*)

Nos anéis com proteção de SNC, uma SNC de serviço, em caso de falha ou degradação de desempenho, é substituída por uma SNC de proteção. Uma SNC corresponde a um segmento de via. A proteção de SNC não precisa ser utilizada em todos os VCs dentro de uma Seção de Multiplexação. No nó de transmissão a Via protegida é enviada em ambos os sentidos do anel. No nó de recepção um das duas Vias é selecionada. As vias são comutadas individual e unidirecionalmente com base em informações puramente locais ao elemento de rede em que é recebido a Via. Nos anéis que utilizam a proteção de via, a configuração mais utilizada é

aquela em que o canal de serviço é enviado por duas vias distintas, uma no sentido horário e outra no sentido anti-horário. No nó de recepção há uma seleção entre as duas vias, baseada na monitoração e detecção de SIA de Via no equipamento ADM. A proteção de SNC pode utilizar monitoração inerente ou não-intrusiva. A proteção de via independe da proteção da seção de multiplexação estar implementada e independe da utilização do protocolo APS.

De acordo com o mecanismo de proteção, o ATF pode ser classificado como ATF com Proteção de Seção Multiplex (ATF PS) e ATF com Proteção de Via (ATF PV).

Os ATF PS utilizam as indicações de eventos de falhas da Seção de Multiplex para efetuar a comutação. Em caso de falha de uma Seção Multiplex, é utilizada a Seção Multiplex de proteção. A configuração pode ser do tipo 1+1 ou 1 : N. A coordenação da comutação é feita pelo protocolo de Comutação Automática de Proteção (CAP).

Nos anéis que utilizam Proteção de Via, a configuração mais utilizada é aquela em que o canal de serviço é enviado por duas vias distintas, uma no sentido horário e outra no sentido anti-horário. No nó de recepção, há uma seleção entre duas vias, baseada na monitoração e detecção de SIA (Sinal Indicativo de Alarme) de Via no Equipamento Multiplex com Deriva/Insere (ADM).

A proteção de Via Independe da Proteção de seção Multiplex está implementada e independe da utilização do protocolo de CAP.

3.5.3) Principais Arquiteturas de ATF's

As arquiteturas que se apresentam como maiores candidatas para uso em redes da Hierarquia Digital Síncrona são ATF-U PV e ATF-B PS.

ATF-U PV

Esta arquitetura está em evidência devido à simplicidade do mecanismo de controle de proteção.

Este mecanismo é baseado na detecção de SAI de Via, e não depende de um controlador centralizado. Oferece proteção contra rompimento de fibra do cabo e falha do equipamento (Nó).

ATF-B PS

Os ATF-B PS podem ser implementados com 4 fibras ou com duas fibras.

Os ATF-B/4 PS têm, entre nós, dois pares de fibras e dois pares de transmissores e receptores (serviço e proteção). Em caso de falha no canal de serviço, há comutação para o canal reserva, apenas no arco afetado. No caso de falha do nó ou rompimento do cabo que envolva as fibras de serviço e proteção no mesmo arco, a comunicação entre os nós do arco é restabelecida através do par de fibras de proteção no outro sentido do anel.

No caso do ATF-B/2, a proteção é feita reservando-se metade da capacidade de transmissão de cada fibra para proteção.

3.5.4) Mecanismo de Proteção de Rede e Equipamento

Falhas nas redes são solucionadas por providência padronizadas aplicadas às conexões de enlace (diretamente, ou através de vias ou seções que os servem) ou conexões de sub-rede. A disponibilidade de um equipamento pode ser melhorada aplicando-se proteção local dentro do equipamento. Muitas funções comuns como a fonte de energia, geração de relógios, matriz de camada de via, e certas funções de agregado elétrico, são protegidas tipicamente desta maneira. Os mecanismos detalhados não estão sujeitos a esta padronização.

Todos os componentes eletrônicos elementares são associados a taxa de erro (λ) do qual a disponibilidade é obtida usando-se a taxa de preparo (μ). Além disto, componentes de software são hoje tão complexos que a

probabilidade de erro no software tem que ser levada em conta. A disponibilidade do equipamento é determinada a partir destes dados.

A disponibilidade, às vezes, também pode aumentar através da prática de um eficiente projeto conhecida como proteção passiva: a arquitetura do equipamento é escolhida com tanto que a transmissão de um serviço não seja afetada desnecessariamente por um erro da função de gerência, por exemplo.

3.5.5) Redundância de Hardware

Equipamentos em geral empregam proteção 1:n em certas classes de tributários de multiplexação e portas “cross-connect”. Estes estão fora do alcance dos mecanismos de proteção de rede padronizados. A proteção 1:1 também é empregada em certos subsistemas de chave tais como matrizes, fonte de potência e gerador de relógios cujo erro irá afetar potencialmente uma grande quantidade de tráfego ou pode comprometer a capacidade dos elementos de rede de fornecer proteção à rede.

3.5.6) Segurança do Software

Defeitos no software podem ser detectados tanto por auto testes como por verificação do desempenho durante a operação, mecanismos que oferecem proteção de tais defeitos são freqüentemente chamados de mecanismos de segurança. O primeiro passo no procedimento de segurança e isolar a rotina com defeito para que o defeito não se espalhe para fora. Isto pode ser aplicado antes ou depois de terminar o processo atual, dependendo do critério de falha. A reconfiguração pode então ser iniciada, onde as funções afetadas pelo componente com defeito estão distribuídas para outros canais do equipamento para dividir a carga. A reinicialização da nova rotina pode ser tanto quente (hot), sem checar o contexto (ou o último ponto de verificação), quanto frio (cold), com o novo contexto. Além do restabelecimento automático dos defeitos, estes mecanismos oferecem

uma importante capacidade de manutenção já que eles permitem que recursos de software sejam trocados ou atualizados durante a operação.

4) GERÊNCIA DE REDES SDH (G.784)

O termo Gerência de Redes possui uma dimensão muito ampla, congregando diversas atividades; basicamente, pode-se dizer que o objetivo da gerência consiste em proporcionar o funcionamento ininterrupto e otimizado da rede, visando uma eficiência do negócio de telecomunicações.

4.1) Introdução à Gerência de Redes TMN

Os requisitos atuais de qualidade para os sistemas de transmissão de dados e a introdução de equipamentos de transmissão mais complexos exigem uma gerência confiável e dinâmica, que pode ser alcançada através da Rede de Gerência de Telecomunicações (*Telecommunications Management Network* – TMN).

Os princípios da TMN e a relação da TMN com o ambiente de telecomunicações estão descritos na recomendação M.3010 do ITU-T.

O conceito básico desta recomendação é prover uma estrutura de rede organizada, a fim de se obter a intercomunicação entre os diversos equipamentos de telecomunicações (NE) e os Sistemas de Operação (OS), para troca de informações de gerenciamento utilizando interfaces de comunicação padronizadas, que incluem a definição de protocolos e mensagens.

Conceitualmente, a filosofia TMN é baseada em uma rede de comunicação de Dados sobreposta à rede de telecomunicações, onde são trocadas as informações de gerência, sendo que as interfaces entre as redes são feitas por meio de pontos específicos.

4.1.1) Funcionalidades de Gerência

Para atender às necessidades de gerência e administração das redes de telecomunicações, a TMN foi dividida em quatro áreas funcionais de gerenciamento:

GERÊNCIA DE FALHAS: é responsável pela detecção, localização e correção das condições anormais de operação da rede. Estas condições anormais incluem as falhas relacionadas com a rede propriamente dita e as falhas dos equipamentos.

GERÊNCIA DE DESEMPENHO: Provê funções para avaliar e relatar o comportamento dos equipamentos de telecomunicações e a eficiência da rede. Principais funções: monitoração de desempenho e medidas de tráfego.

GERÊNCIA DE CONFIGURAÇÃO: Habilita o usuário a criar e modificar recursos físicos e lógicos da rede. Principais funções: configuração dos recursos, gerenciamento da Ordem de Serviço e informações de recursos.

GERÊNCIA DE TARIFAÇÃO: Provê um conjunto de funções que permitem assegurar a segurança da rede. Primeiras funções: segurança de acesso, alarmes de segurança e segurança dos dados.

4.1.2) Arquitetura TMN

A TMN está estruturada em três arquiteturas básicas que podem ser consideradas separadamente no planejamento e no projeto do sistema de gerência.

Arquitetura Funcional: Descreve as funções de gerenciamento, agrupadas em blocos funcionais através dos quais uma TMN pode ser implementada.

Arquitetura de Informação: Baseada em uma abordagem orientada a objeto, fornece os fundamentos para o mapeamento dos princípios de gerenciamento de sistemas OSI em princípios TMN.

Arquitetura Física: descreve as interfaces que constituem a rede de gerência.

4.1.3) Arquitetura Funcional

A arquitetura funcional é baseada em blocos funcionais e descreve as distribuições apropriadas destes blocos, através dos quais uma TMN de qualquer complexidade pode ser implementada.

Os blocos funcionais são constituít6(ta)4.9O vár.4(.)i5(i1)-5component(es

MF → Atua na informação que trafega entre OSF's e NEF's, para garantir que as informações sejam entendidas entre ambas as partes. Um MF pode armazenar, filtrar, adaptar e condensar informações.

b) Componentes Funcionais:

A recomendação M.3010 do ITU-T também estabelece componentes funcionais que constituem as subdivisões dos blocos de construção do modelo de arquitetura funcional.

MAF → Função de Aplicação de Gerenciamento (*Magement Applicattion Function*) – Implementa realmente os serviços de gerenciamento, podendo assumir o papel de gerente ou agente.

MIB → Base de Informação de Gerenciamento (*Management Information base*) – Corresponde ao depósito conceitual das informações de gerenciamento. Ela representa o conjunto de objetos gerenciados dentro de um sistema de gerência, e além disso, contém as propriedades que estes objetos possuem.

ICF → Função de Conversão de Informação (*Information Conversion Function*) – é utilizada para tradução do modelo de informação de uma interface para o modelo de outra interface.

PF → Função de Apresentação (*Presentation Function*) – Executa todas as funções necessárias para apresentação das

informações ao usuário, facilitando a entrada, apresentação e a modificação de detalhes dos objetos.

MCF → Função de Comunicação de Mensagens (*Message Communication Function*) – É a responsável pela troca de informações entre os blocos funcionais. É composta por uma pilha de protocolos que permite a conexão de blocos funcionais para a função de comunicação de dados.

c) Pontos de Referência:

Os pontos de referência definem fronteiras de serviços entre dois blocos funcionais, definindo o tipo de informação trocada entre os blocos. Três classes de pontos de referência foram definidas:

- Classe q – entre OSF, QAF, MF e NEF
- Classe f – para ligação de WSF
- Classe x – entre OSF's de TMN's diferentes

Duas classes adicionais de pontos de referência foram definidas, mas não são consideradas TMN, ou seja, não estão sujeitas a padronização.

- Classe g – entre a WSF e o usuário
- Classe m – entre uma QAF e a entidade gerenciada.

d) Função de Comunicação de Dados (*Data Communication Function* – DCF)

É utilizada pelos blocos funcionais para troca de informações. Implementa as camadas de 1 a 3 do modelo OSI, fornecendo funções de roteamento, retransmissão e interfuncionamento. Suporta diferentes tipos de

redes: X.25, MAN, LAN, RDSI, SSCC nº 7 ou SDH. A figura 4.2 mostra o relacionamento entre a função MCF e a DCF.

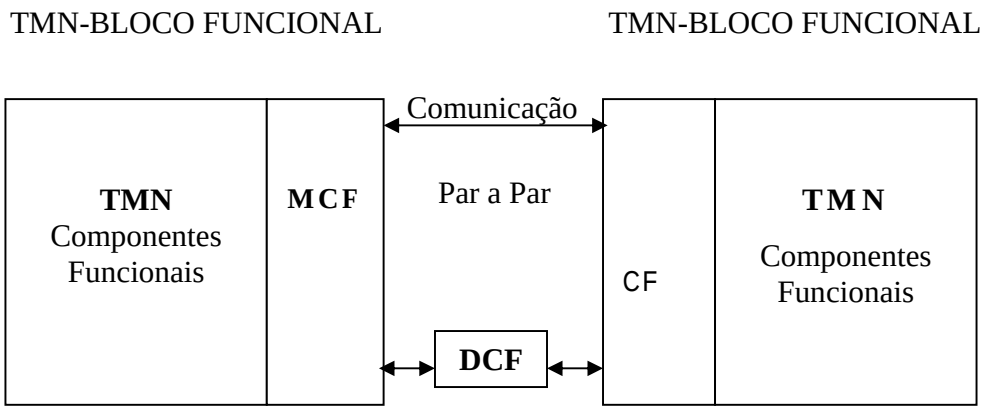

Fig. 4.2 – relacionamento entre a MCF e a DCF

4.1.4) Arquitetura Física

A arquitetura TMN deve prover um alto grau de flexibilidade para tratar as várias condições topológicas das redes gerenciadas e as estruturas organizacionais das diversas administrações, e deve ser implementada segundo uma arquitetura física, que define os seguintes blocos:

- Sistemas de suporte à Operação – OS (*Operation Systems*)
- Rede de Comunicação de DADOS – DCN (*Data Communication Network*)
- Dispositivo de Mediação – MD (*Mediation Device*)
- Elementos de Rede – NE (*Network Elements*)
- Adaptador Q – QA (*Q Adaptor*)

a) Sistemas de suporte à operação (*Operations System* - OS)

Os sistemas de suporte à operação possibilitam a centralização ou a distribuição das funções de gerenciamento. Estas funções incluem:

- Programas de aplicação de suporte.
- Funções de banco de dados.
- Programas de análise.
- Formatação de dados e relatórios.

b) Rede de comunicação de dados (*Data Communication Network* - DCN)

É uma rede de dados que utiliza protocolos padronizados e permite a comunicação dos elementos da rede com os sistemas de operação.

Em uma mesma TMN podem conviver mais de uma Sub-rede para formar a DCN, por exemplo uma rede de pacotes X.25 com segmentos de Rede Local (LAN).

Numa TMN, as funções de comunicação tais como conversão de protocolos, retransmissão e encaminhamento de mensagens fazem parte da DCN.

c) Dispositivo de mediação (*Mediation Device* - MD)

Implementa as funções de Mediação que atuam sobre a troca de informação entre NE, QA e OS e também executa funções de gerenciamento local para os NE’s.

Utiliza interfaces padronizadas e pode ser implementado em um sistema independente ou como parte do NE.

O MD também pode gerenciar um NE ou grupos de NE’s, executando funções de concentração.

Ele visa tornar a comunicação mais transparente e eficiente, fazendo a tradução dos modelos de informação proprietários para os modelos de informação padronizados.

d) Elementos de rede (*Network Element* - NE)

São os componentes da rede de telecomunicações que necessitam ser gerenciados. As diversas partes de um NE não estão restritas a uma única localidade, considerando-se, por exemplo, um tronco de transmissão como um único NE, suas partes estarão distribuídas entre as diversas estações repetidoras.

e) Adaptador Q (*Q Adaptor* - QA)

É um componente opcional de um NE, através do qual o NE pode se comunicar diretamente com a TMN utilizando-se de um dos protocolos padronizados.

Ele é utilizado quando o NE não possui interface padronizada e o QA faz a tradução do protocolo proprietário para os protocolos padronizados.

f) Estação de trabalho (*Work Station* - WS)

Engloba os recursos para o acesso de operadores aos OS, MD, QA, NE.

Não se trata de uma estação de trabalho no sentido que é utilizado em informática, podendo ser inclusive um terminal de vídeo ou uma console especializada. No entanto, à medida que os OS's se tornam mais sofisticados, uma WS se torna o hardware mais adequado a ser utilizado, devido as suas facilidades gráficas necessárias a uma boa interface com o operador.

As principais funções a serem suportadas pelas WS são:

- acesso à TMN.
- segurança de acesso e login.

- reconhecimento e validação de entradas.
- formatação e validação de saídas.
- Suporte para “menus”, telas, janelas.

4.2) Gerência da SDH

O gerenciamento da rede SDH utilizando a aqruitetura TMN está definido na recomendação G.784 do ITU-T. Ela define as várias entidades de gerenciamento, como elas se comunicam, o modelo organizacional de gerenciamento, a arquitetura da sub-rede de gerenciamento, topologias, funções de gerência e o protocolo Q3. O gerenciamento da rede SDH é visto como um subconjunto da TMN.

O modelo de informação para o SDH é definido na recomendação G.774.

4.2.1) Modelo Organizacional da Gerência da SDH

A gerência da rede SDH utiliza um modelo organizacional hierárquico (gerência distribuída em camadas), onde em cada nível (camada) é definido um conjunto de funcionalidades. A definição de níveis distintos pode variar devido ao tamanho do sistema e a estratégia de gerenciamento. O nível mais baixo deste modelo, inclui os NE’s SDH que fornecem o serviço de transporte.

A MAF (*Management Application Function*) é a função de aplicação de gerenciamento que inclui o agente e/ou o gerente. Cada elemento gerenciado (NE) da SDH, mediador (MD) e sistema de operação (OS) deve suportar uma MAF. O elemento gerenciado da SDH pode incluir ou não um gerente, no entanto, o MD e os OS deverão ter ao menos um gerente. Os NE’s que incluem gerentes são capazes de gerenciar outros NE’s. Um NE dentro de uma rede SDH com função gerente pode suprimir alarmes gerados por outros NE’s devido a uma falha comum e, substituir essas várias

mensagens, direcionando-a ao MD/OS, identificando a origem do problema. O formato da nova mensagem deverá ser consistente com os outros alarmes.

A MAF é responsável pela origem e pelo destino das mensagens de gerência e pode conter somente Gerentes, somente Agentes ou Gerentes e Agentes. A MAF dentro de um NE se comunica com a MAF de outros NEs, de MDs ou de OS's.

- Função Aplicação de Gerenciamento (MAF)

Um processo de aplicação para gerenciamento de sistema. A MAF inclui um Agente (sendo gerenciado) e um *Gerenciador*. A MAF é a origem e a terminação para todas mensagens TMN.

- Agente (*Agent*)

Parte da MAF capaz de responder a operações da rede de gerecniamento ordenadas por um Gerenciador e que pode executar operações em Objetos Gerenciáveis, produzindo eventos.

- Objeto Gerenciado (*Managed Object* – MO).

Um recurso dentro do ambiente de telecomunicações que pode ser gerenciado via um Agente. Exemplos de objetos gerenciáveis são: equipamento, terminal de recepção, terminal de transmissão, fonte de alimentação, cartão de circuito, container virtual, seção multiplex. Seção regeneradora.

A MCF (*Message Communications Function*) fornece as facilidades para transportar as mensagens de gerenciamento da rede de uma MAF para outra. Dentro de cada entidade de gerenciamento (ME, MD, OS) deve existir a MCF.

O Sistema de Comunicação de Mensagens (MCF) provê facilidades para o transporte de mensagens da TMN para e da MAF, além do trânsito das mesmas. O MCF não origina e nem é terminação de mensagens.

4.2.2) Relacionamento entre TMN, SMN e SMS

A Rede de Gerência da SDH (SMN) é o subconjunto da TMN responsável pela gerência da rede da SDH. A SMN pode ser subdividida em Sub-redes de Gerência da SDH (SMS). Estas sub-redes são constituídas por um conjunto de ECC's (*Embedded Control Channel*) distintos e enlaces de comunicação de dados dentro de uma mesma área. Os ECC's e os enlaces interconectados formam uma rede de comunicação de dados de operação em uma dada topologia de transporte da SDH. Uma SMS representa uma Rede de Comunicação Local (*Local Communication Network*-LCN) específica da SDH, que é parte da TMN ou de outra rede de dados para operação.

O ECC fornece o canal lógico de operação entre os NE's SDH, e utiliza como camada física o DCC (Data Communication Channel).

Dentro de um sinal STM-N existem 2 canais DCC, os Bytes D1-D3 dando um canal de 192 kbit/s e os Bytes D4-D12 dando um canal de 576 kbit/s. O canal DDC_R (D1-D3) não pode ser acessado por todos NEs SDH, ao passo que o canal DCC_M (D4-D12) não pode ser acessado pelos regeneradores, logo o canal DDC_R é utilizado pelos NEs SDH, como suporte de transporte de informações de gerência.

Está em estudos pelo ITU-T, utilização do canal DDC_M (D4-D12) em aplicações TMN e aplicações no gerenciamento do NE SDH.

A funcionalidade a ser suportada pelo NE SDH irá determinar o tipo de interface Q necessária. Os principais tipos são os NE SDH com função de mediação e os simples.

4.2.3) Acesso à SMS

O acesso a SMS é sempre feito através das facilidades oferecidas pela MCF de um NE:

- Interface Q para o acesso de um MD ou Os.
- Interface F para o acesso de uma estação de Trabalho (WS).

O acesso à SMS feito através de NE não SDH (NNE) está em estudo pelo ITU-T.

Cada SMS deve ter pelo menos um NE conectado a um OS ou MD. Este elemento é denominado GNE (NE do tipo *Gateway*). O GNE deve ser capaz de realizar roteamento de mensagem do ECC destinadas a outros NE da SMS.

Considerando o acesso e a troca de mensagens (internamente) à SMS, pode existir os seguintes tipos de comunicação:

a) Comunicação de NE/GNE com NE

Um NE se comunica com outro NE para reportar alarmes, eventos/condições de falha estados, indicações de erro e para realizar o chaveamento de proteção. Para tal é necessário haver interfaces de NE com NE que podem ser os ECCs ou Redes de Comunicação Local (LCNs).

b) Comunicação de GNE com MD

Um GNE se comunica com um MD através de uma interface Qx.

c) Comunicação de GNE com OS

A via de comunicação de um GNE com o OS é estabelecida diretamente através da interface Q3 ou indiretamente através de um MD.

d) Comunicação de NE/GNE com WS

A comunicação de um NE/GNE com uma WS pode ser feita local ou remotamente. Uma WS é conectada a um NE através de um interface F e pode comandar este NE diretamente ou outro NE indiretamente através da utilização do ECC.

4.2.4) Funções de Gerência SDH

O aspecto funcional de um NE define os serviços de gerência que este pode oferecer ao sistema de gerência e ao operador local. Estes serviços, no contexto da TMN, podem ser classificados como funções de gerência do NE.

As funções de gerência relevantes para um NE da SDH são:

- Gerência de falhas;
- Gerência de desempenho;
- Gerência de configuração;
- Gerência de segurança;
- Gerência de tarifação.

a) Gerência de Falhas

A gerência de falhas é responsável pela detecção, localização e correção de condições anormais de operação da rede. Estas condições anormais incluem falhas relacionadas com a rede propriamente dita e falhas específicas dos equipamentos.

Supervisão de Alarmes

A supervisão de alarmes está relacionada com a detecção e exteriorização de eventos/condições de falha relevantes. Numa rede, eventos/condições de falha detectados no equipamento ou no sinal recebido, bem como aqueles externos ao equipamento, devem ser exteriorizáveis.

Alarmes são indicações geradas automaticamente por um NE como resposta a certas condições/eventos. Deve ser oferecida a flexibilidade de definição de quais condições/eventos geram exteriorizações de alarme espontâneas ou sob demanda.

As seguintes funções relacionadas com alarmes devem ser fornecidas:

- Reportar alarmes espontâneos;
- Solicitar todos os alarmes;
- Reportar todos os alarmes;
- Inibir ou não o relato de alarmes;
- Reportar, sob demanda, a condição de inibição ou não de relato de alarmes;

Histórico da Supervisão de Alarmes

O histórico da supervisão de alarmes está relacionado com a coleta de alarmes. Os dados históricos coletados serão armazenados em registros no NE. Cada registro contém todos os parâmetros de uma mensagem de alarme.

Os registros deverão permitir *time stamping* e que sua leitura seja feita periodicamente ou sob demanda. O OS pode definir o modo de operação dos registros, tal como *wrapping* (consiste em desprezar o dado mais antigo para permitir a coleta de um novo dado, quando todos os registros estiverem cheios) ou interrupção de coleta quando todos os registros estiverem cheios. O OS também pode decidir por *flushing* (consiste em levar a zero os registros)dos registros ou interrupção de coleta em qualquer instante.

Facilidades de Gerência Local

Neste item estão relacionadas as facilidades que devem estar disponíveis nos equipamentos da SDH para facilitar os procedimentos de gerência local de falhas.

Existe um relacionamento (visual, sonoro) entre as Anomalias e Defeitos com as facilidades de Gerência Local. E também entre as

indicações relativas a falhas internas das unidades não relacionadas com as Anomalias e Defeitos.

Estas facilidades são de três tipos:

- facilidades de unidade;
- facilidades de sistema;
- facilidades de bastidor.

Eventos Externos

A Empresa Operadora pode ter interesse em monitorar local ou remotamente eventos termos ao equipamento tais como, porta da sala de equipamento aberta, temperatura ambiental elevada ou funcionamento do banco de baterias inadequado.

b) Gerência de Desempenho

Consiste basicamente da coleta de dados estatísticos com a finalidade de prover informações que permitam avaliar o desempenho dos elementos de rede e a qualidade dos serviços oferecidos pela rede. A TMN recebe informações dos elementos de rede monitorados e atua no sentido de reconfigurar ou modificar a operação face às condições que afetem o funcionamento eficiente da rede de telecomunicações.

Dados de histórico de desempenho são necessários para avaliar o desempenho dos elementos de rede e a qualidade dos serviços oferecidos pela rede. A TMN recebe informações dos elementos de rede monitorados e atua no sentido de reconfigurar ou modificar a operação face às condições que afetem o funcionamento eficiente da rede de telecomunicações.

Dados de histórico de desempenho são necessários para avaliar o desempenho recente de sistemas de transmissão. Tal informação pode ser

usada para habilitar a seccionalização de falhas e localização de fontes de erros intermitentes.

C) Gerência de Configuração

A gerência de configuração provê funções que atuam sobre a identificação e o estado dos equipamentos e serviços da rede, incluindo as funções de planejamento e instalação de equipamentos e serviços.

Esta gerência compreende funções de provisionamento, status, controle e funções de instalação.

Funções de Provisionamento

São responsáveis pelos procedimentos necessários para colocar equipamentos em serviço, excluindo a fase de instalação. Como exemplos, tem-se:

- inicialização de parâmetros;
- controle do estado de serviço de uma unidade (em serviço, *stand by* ou reservada);
- controle de parâmetros selecionados.

Status e Controle

É responsável pela monitoração e controle sob demanda de certos aspectos do NE. Exemplos:

- verificação e alteração do estado de serviço do NE;
- inicialização de auto-teste;
- exclusão de equipamento em falha e re-roteamento de tráfego.

As funções específicas que permitem que o tráfego na seção de proteção seja controlado pelo usuário são:

- comutação manual;
- comutação forçada;
- bloqueio de comutação;
- solicitação/estabelecimento automático de parâmetros de comutação.

Funções de Instalação

São responsáveis pelo suporte à instalação de equipamentos na rede de telecomunicações, por exemplo:

- troca inicial de dados entre o equipamento e a TMN;
- instalação de programas nos NEs;
- programas de teste de aceitação.

d) Gerência de Segurança

Este item apresenta os requisitos gerais que a Gerência da Rede da SDH deverá cumprir, referentes às facilidades oferecidas a cada operador e à segurança da operação.

Todo e qualquer ato de gerência deve prever recursos de segurança e proteção que garantam a exatidão da ação e impeçam uma possível degeneração do sistema. Esta operação deve ser efetivada através da combinação dos seguintes recursos:

- pedido de confirmação de comandos que possam alterar ou degradar o funcionamento do sistema;
- impossibilidade de apagar uma grande quantidade de informações com um só ato de gerência;

- especialização de terminais;
- possibilidade de verificar a consistência das informações antes da execução da função;
- recusa de comandos de CHM (Comando Homem Máquina) que causem a interrupção de funções básicas do sistema.

A cada operador de rede da SDH devem estar associados três atributos:

Identificador do Operador

Todos os operadores deverão poder ser previamente cadastrados no sistema de gerência da SDH, de modo que este possa reconhecer cada operador e verificar o seu nível de autorização (em função da sua classe de atuação e da sua categoria de comandos).

Um operador só poderá executar comandos após ter submetido sua identificação ao sistema de gerência da SDH.

A cada operador será atribuída uma identificação, formada por, no mínimo, dois campos:

- um campo de conhecimento público;
- um campo secreto.

Deverão haver mecanismos para garantir o sigilo do campo secreto da identificação do operador. Deverá ser possível a identificação do autor de qualquer comando, através da análise do “log” do sistema. Deverá haver um arquivo dos comandos emitidos nas últimas 48 horas.

Classes de Atuação

Uma classe de atuação define o conjunto de equipamentos sobre os quais um operador pode atuar, permitindo a regionalização da operação.

Deverá ser possível definir e alterar quais comandos compõem cada categoria de comandos. Deverá existir um comando que permita atribuir a

um operador uma determinada categoria de comandos. Devrão haver, no mínimo, 3 níveis hierárquicos de categoria de comandos.

4.3) Acesso dos Equipamentos SDH à TMN

Equipamentos da SDH devem prover interfaces com a TMN para troca de mensagens através do DCC, interface Q ou ambos. Mensagens não endereçadas para o equipamento local devem ser passadas para a interface Q ou canal DCC apropriados. A TMN pode então ser provida com um enlace lógico direto para qualquer equipamento da SDH através de uma única interface Q e DCC's interconectados (ligando os equipamentos da SDH).

Há dois modos de usar o DCC:

- Uso dos bytes D1 a D3 localizados no RSOH (DCC_R) e com acesso em todo elemento de rede, incluindo regeneradores.

- Uso dos bytes D4 a D12 localizados no MSOH (DCC_M) em todo NE, exceto nos regeneradores. Estes bytes são enviados alternativamente para o ponto de referência P (função MCF) ou para o ponto de U2 (Função OHA).

BYTES:

D1 a D3 - DCC_R (CANAL DE COMUNICAÇÃO DE DADOS DA SEÇÃO DE REGENERAÇÃO –192 kbit/s).

D4 a D12 - DCC_M (CANAL DE COMUNICAÇÃO DE DAOS DA SEÇÃO DE MULTIPLEXAÇÃO – 576 kbit/s).

Estes canais são baseados em mensagens e realizam a comunicação entre elementos de rede. Eles podem ser usados para dar suporte à comunicação entre os elementos de rede e a TMN.

As funções internas aos equipamentos, relacionados à TMN são:

- SEMF (*Synchronous Equipment Management Function*)

Converte dados de desempenho e alarmes específicos de implementação em mensagens orientadas a objeto para transmissão do DCC e/ou na interface Q. Converte também mensagens orientadas a objeto relacionadas a outras funções de gerenciamento para passarem aos pontos de referência Sn (comunicação da SEMF com os demais blocos funcionais do equipamento).

- MCF (*Message Communications Function*)

Esta função recebe e armazena mensagens vindas do(s) DCC(s), interfaces Q e F e SEMF. Mensagens não endereçadas ao equipamento local são passadas para um ou mais DCCs de saída de acordo com procedimentos locais de roteamento e/ou para interface(s) Q. A MCF faz a conversão da camada 1 (e/ou camada 2) dos protocolos do canal DCC e interface Q ou do protocolo de dois canais DCC.

O MCF intefaceia o Sistema de Gerenciamento do equipamento (SEMF) no ponto V de referência. É trânsito para os canais DCC_R e DCC_R e através dos pontos de referência N e P respectivamente. Para o meio exterior, se conecta através de interfaces padronizadas Q e F com a TMN.

5) APLICAÇÕES DAS REDES SDH

A principal aplicação da Hierarquia SDH é servir como meio de transporte para as demais tecnologias.

5.1) Redes Inteligentes

SDH proporciona a infra-estrutura necessária que possibilita a operação das redes inteligentes de comunicação pessoal. Tais redes são aquelas em que o usuário possui um número telefônico único e a rede de telecomunicações é inteligente o bastante para saber onde a pessoa está e encaminhar a chamada.

Por exemplo, uma pessoa que contrata os serviços da rede inteligente, no horário comercial encaminha suas chamadas para o escritório e, à noite, para casa. Também, se os números chamados não atenderem ou estiverem ocupados, o sistema automaticamente tenta o celular. Ou então, o usuário, talvez através de um cartão inteligente, informa a rede onde está e todas as ligações destinadas a ele serão desviadas para o lugar informado.

Só redes inteligentes, controladas por software e equipadas com um sistema de sinalização muito complexo, poderiam permitir tal serviço. Os sistemas de transmissão SDH são o alicerce ideal para essas redes.

5.2) SDH em redes de acesso

Outra aplicação interessante e que começa a ser implantada são os armários ópticos com equipamentos SDH embutidos. Esses armários funcionam como um concentrador de assinantes: em vez de um par de fios sair da casa de cada assinante ir até a central telefônica, ele se estenderá apenas até um armário próximo que fica instalado numa rua do bairro. Do armário até a central, o sinal segue multiplexado, através de uma fibra óptica, com uma estrutura STM-1.

Esta medida economiza fibras e, especialmente, cabos metálicos, porque a distância a ser percorrida por eles é menor. Também, os armários podem ser ligados em anel e facilmente interconectados com a rede da operadora, sendo possível até que ele execute algumas funções de encaminhamento que seriam executadas pela central, aliviando o tráfego.

5.3) RDSI

A partir do início da década de 1970, muitas das concessionárias de serviços de telecomunicações decidiram começar a instalar exclusivamente sistemas digitais. Essa decisão visava à implementação futura de uma Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI), com o objetivo de oferecer a maior variedade possível de serviços aos clientes. A Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI) começa a crescer no Brasil.

Por trás da expressão “serviços integrados” está o conceito de que, se todo tipo de informação pode ser reduzido a bits, por que não levar à casa do assinante vários serviços digitais? Determinou-se que o acesso básico à RDSI seria feito por interface 144 kbps. Com essa interface, os assinantes podem navegar e falar ao telefone, ao mesmo tempo e pelo mesmo par de fios. Centrais telefônicas que oferecem acesso RDSI precisam, para funcionar bem, da ajuda de uma rede de transporte de informações como as de SDH.

As redes SDH possibilitam que cada vez mais empresas e pessoas usem, facilmente, enlaces privados a altas taxas. Enlaces privados de 2 Mbps, ou até de 8 Mbps já existem, mas ainda não são comuns, sequer baratos. No equipamento PDH, esse tipo de enlace tornar-se-ia tão complexo, que é inviável; já as redes SDH, com sua flexibilidade, permitem o fornecimento de um ou mais enlaces de forma muito simples, conforme vimos no corpo de nosso trabalho.

Os softwares dos equipamentos têm avançado em direção tal que dentro em breve será possível até que o próprio usuário faça alterações na rota de seu enlace, usando seu equipamento.

5.4) ATM

O grande futuro da SDH é a tecnologia ATM (modo de transferência assíncrono) para comutação rápida de pequenos pacotes de dados. No ATM, a informação do usuário (voz, dados ou imagens) é dividida em pacotes de 53 bytes, também conhecido como célula. Cada célula possui um cabeçalho indicando de onde vem, para onde vai e que tipo de informação carrega. O usuário não ocupa recursos do sistema se não tiver pacotes a transmitir. Quanto mais dados o usuário precisa transmitir, mais pacotes vai utilizar; quanto menos dados, menos pacotes. Por isso se diz que o ATM tem largura de banda transparente.

O ATM é uma das grandes promessas para operadoras telefônicas porque o mesmo equipamento vai servir para vender serviços como os de interconexão de redes de computadores, videoconferência, acesso a bancos de dados remotos, internet, interconexão de mainframes (grandes computadores). Entretanto, sem uma rede de SDH para dar apoio, as redes ATM ficariam extremamente caras.

Comutadores ATM podem ter, embutido, um multiplexador de SDH com STM-1 (155 Mbps). Os equipamentos SDH sabem identificar, remanejar, inserir e extrair pacotes ATM porque há padrões internacionais para a criação, a partir de célula ATM, de containers virtuais dentro do quadro STM-n. A tecnologia SDH servirá como infra-estrutura para os serviços baseados em comutadores de ATM.

5.5) Próximos passos da rede SDH

Há duas tecnologias que já estão causando muito impacto nas redes SHD. Uma é a dos amplificadores ópticos, que permitem transmissões, sem

usar repetidores, por distâncias de até 300km. Vários sistemas submarinos já usam esses amplificadores.

A outra é a dos multiplexadores por divisão de comprimento de onda óptica (cuja sigla em inglês é WDM-*Wavelenght Division Multiplex*). Esses multiplexadores, usando transponders, modulam os sinais ópticos, fazendo com que cada um dos sinais ocupem um comprimento de onda diferente, e todos os sinais são transmitidos pela mesma fibra óptica.

Já existem WDM que reúnem 128 sinais STM-16 em uma única fibra. Vários fabricantes oferecem sistemas OADM que funcionam no domínio da luz, ou seja, tributários são extraídos ou inseridos sem que seja necessária a conversão para sinais elétricos.

6) CONCLUSÕES

Uma rede síncrona traz vários benefícios, mas, de longe, o principal deles é a simplificação das redes. Um único multiplexador síncrono substitui uma grande quantidade de multiplexadores plesiócronos. Uma estação SDH é mais simples, sua manutenção é mais barata, ocupa menos espaço e consome menos energia.

Como é fácil extrair e inserir enlaces PCM da SDH, as operadoras podem oferecer serviços de banda larga mais facilmente, porque não é necessário o envio de uma equipe somente para rotear um novo enlace. Uma nova rota pode ser estabelecida a partir de um ponto central, pela simples digitação de um comando em um terminal de gerência de rede.

Sistemas de SDH tendem a ficar cada vez mais populares. Esta não é uma afirmativa temerária: o mesmo vem ocorrendo com os computadores pessoais, secretárias eletrônicas, internet, centrais telefônicas digitais e comunicações via satélite. E a difusão das redes SDH está modificando o cenário das redes de telecomunicações: cada vez mais empresas estão usando enlaces privados, serviços de comunicações pessoais estão surgindo, mais pessoas conectadas à RDSI e serviços de comutação rápida de pacotes, como o ATM, vão permitir requisitar banda larga somente quando for necessário.

Com a necessidade de aumentar a capacidade de transporte para taxas na ordem de Gbit/s, oferecer serviços com qualidade elevada e atender ao cliente mais rapidamente e sob demanda, a PDH se mostrou limitada. Para este novo cenário, onde são necessárias arquiteturas de rede mais flexíveis que enlaces ponto-a-ponto e arquiteturas de rede altamente protegida contra falhas, surgiu a Hierarquia Digital Síncrona – SDH, que permite às operadoras obter mais informações sobre a sua rede e ter a capacidade de intervir com maior rapidez e eficácia, visualizando toda a rede com um único sistema de transporte.

A introdução da SDH trouxe um novo conceito em redes de transporte. O alto grau de padronização que envolve a SDH permite que redes de diferentes operadoras possam ser interligadas e permite que redes possam ser constituídas por equipamentos de fornecedores distintos. Estas redes com capacidade de transporte na ordem de Gbit/s têm arquiteturas altamente protegidas e flexíveis onde o usuário encontra grande disponibilidade de serviços com qualidade elevada e custo relativamente menor. A qualidade de serviço é conseguida devido à alta capacidade de gerenciamento do serviço prestado, o que permite à operadora interagir com a sua rede de forma mais rápida, segura e eficaz.

6.1) Comparação SDH x PDH

Características da PDH:

O primeiro nível (E1 ou T1) é tratado sob a forma de octetos;

Os níveis superiores são tratados sob a forma de bits;

A duração dos quadros não é uniforme;

Taxa de repetição de 8.000 quadros por segundo;

Nem todas as interfaces estão padronizadas;

Baixa capacidade dos canais de serviço

Características da SDH:

Tratamento a nivel de byte;

Duração de quadro uniforme (125μs);

Utilização de ponteiros para identificação dos quadros tributários e para adaptação da velocidade;

Canais de serviço e supervisão de grande capacidade

Vantagens da SDH:

Menor quantidade de passos de multiplexação;

Alta capacidade de transporte;

Menos interfaces de transmissão;

Tributário único padronizado (todo o processamento realiza-se a nivel de STM-1);

Possibilidade de transportar e misturar sinais de diferentes hierarquias PDH em um único STM-1;

Canais de operação e manutenção integrados;

Realização de redes flexíveis com o uso de ADM e SDXC;

Compatibilidade entre os fabricantes;

Maior confiabilidade e disponibilidade.

Como vemos, a SDH possui uma série de vantagens em relação à PDH. Em primeiro lugar, o processo de multiplexação é muito mais direto. A utilização de ponteiros permite uma localização fácil e direta dos sinais tributários (VC's) dentro do quadro de linha, sendo que todo o processamento pode ser realizado por um único processador de sinal STM-1 (155 Mbps).

Em segundo lugar, a interface óptica de linha está padronizada, sendo que alguns equipamentos nem sequer possuem interfaces elétricas a velocidade de linha.

Em terceiro lugar, seja qual for a velocidade de linha, todo o processamento efetua-se a nível de STM-1. Os sinais de velocidades superiores são resultado de uma multiplexação síncrona de N sinais STM-1 síncronos entre si e em fase, por serem processos STM-1 gerados localmente em cada nó de rede. A multiplexação de 4 ou 16 sinais STM-1

em um sinal STM-4 ou STM-16, respectivamente, consiste em uma simples intercalação de bytes dos 4 ou 16 processos individuais STM-1.

A simplicidade do processamento permite a realização de redes flexíveis, com o uso de nós de rede capazes de copiar para e desde o sinal de linha um ou vários tributários (ADM) ou copiar tributários de um sinal de linha para outros sinais de linha (SDXC).

Neste projeto, nós procuramos passar uma visão geral dos sistemas de transmissão baseados na Hierarquia Digital Síncrona – SDH. Como sugestão para continuidade deste estudo, podemos indicar assuntos como os ADM Ópticos (OADM), que surgem como uma forte tendência do mercado, o ATM sobre SDH, que já é um ponto forte da tecnologia SDH, as aplicações de sistemas SDH para transportarem o protocolo da internet - IP e os Multiplexadores por Divisão de Comprimento de Onda – WDM, que aumentam enormemente a capacidade de transmissão em sistemas baseados em fibras ópticas.

7) BIBLIOGRAFIA:

A Hierarquia Digital Síncrona
Autor: Cristiano Henrique Ferraz
Copyright: Wandel & Goltermann

Hierarquia Digital Síncrona – Conceitos e Aplicações

Autor: Prof. Luiz Augusto

Hierarquia Digital Síncrona (SDH) – Básico

Autores: Engº. Ivan César Martinazzo e Engº. Adalberto R.Bihari

Embratel - 3º edição

Apostila: "Diretrizes para a Digitalização das Telecomunicações nas Empresas de Energia Elétrica"

Subcomitê de comunicações – Grupo de estudo de comunicações

Redes de Computadores, Tanembaum

ATM and SDH , ERICSSON Library

ATM – O Futuro das Redes; Ronaldo Luiz Dias Cereda, Marcos Antonio Cardoso, Luis Sérgio Dutra, Rubens Rodrigues
Ed. Makron Books

http://www.lucent.com

Revista RNT – ano 19 – Nº213 A – maio 97

SDH – Hierarquia Digital Síncrona - Conceitos Básicos

Educação e Treinamento em Telecomunicações – CPqD

ABREVIAÇÕES UTILIZADAS

ADM – Add/Drop Multiplexer

ATM – Assynchronous Transfer Mode

ATF – Anel Tolerante a Falha

ATF-U – Anel Tolerante a Falhas Unidirecional

ATF-B – Anel Tolerante a Falha Bidirecional

AU – Administrative Unit

AUG – Administrative Unit Group

BER – Bit Error Ratio

BIP – Bit Interleaved Parity

C – Container

CAS – Channel Associated Signaling

CEPT – Committee European de Post et Telegraph

DCC – Data Communication Channel

DXC – Digital Cross Conect

FDDI – Fiber Distributed Data Interface

FIFO – First In First Out

ISDN – Integrated Services Digital Network (RDSI)

ITU-T – International Telecommunication Union

LTM – Line Terminal Multiplexer

MIB – Management Information Base

MSOH – Multiplex Section Overhead

MSA – Multiplex Section Adaptation

MSP – Multiplex Section Protection

MST – Multiplex Section Termination

MUX – Multiplexer

NE – Network Element

NNE – Non-SDH Network Element

NNI – Network Node Interface

OC – Optical Carrier

OS – Operations System

PCM – Pulse Code Modulation

PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy

POH – Path Overhead

QA – Q Adaptor

RSOH – Regenerator Section Overhead

SDH – Synchronous Digital Hierarchy

SDXC – Synchronous Digital Cross Connect

SMN – SDH Management Network

SMS – SDH Management Sub-network

SOH – Section Overhead

SONET – Synchronous Optical Network

STM – Synchronous Transport Network

TDM – Time Division Multiplex

TU – Tributary Unit

TUG – Tributary Unit Group

VC – Virtual Container

WDM – Wavelenght Division Multiplex

WS – Work Station

ALUNOS:

- Cezar Luiz Martins Mendes
- Marcos Paulo Veit
- Ana Paula Moreira Ribeiro
- Carla Regina do Amaral Sabatino
- Cássio de Azevedo Lourenço